DOLGOZAT
A KOLOZSVÁRI M. KIR. FERENCZ JÓZSEF TUDOMÁNYEGYETEM
CHEMIAI INTÉZETÉBŐL.
Igazgató: **FABINYI RUDOLF dr.**

AZ ATOMVOLUMENVÁLTOZÁSRÓL.

BÖLCSÉSZ-DOCTORI ÉRTEKEZÉS.

ÍRTA:

SZEGEDY ISTVÁN.

KOLOZSVÁR,
AJTAI K. ALBERT KÖNYVNYOMDÁJA.
1913.

DOLGOZAT

A KOLOZSVÁRI M. KIR. FERENCZ JÓZSEF TUDOMÁNYEGYETEM CHEMIAI INTÉZETÉBŐL.

Igazgató: **FABINYI RUDOLF dr.**

AZ ATOMVOLUMENVÁLTOZÁSRÓL.

BÖLCSÉSZ-DOCTORI ÉRTEKEZÉS.

ÍRTA:

SZEGEDY ISTVÁN.

ACAD. UGD. BAT BIBL.

KOLOZSVÁR,

AJTAI K. ALBERT KÖNYVNYOMDÁJA.

1913.

Ami vágyódás a megismerésre, azt SIMAY MARGIT *asszonynak, ami hadakozás az ismeretlen ellen, azt* FAZÉK GYULA *bányaigazgatónak — ajánlom.*

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41544719_0026

ELŐSZÓ.

Mesteremnek, Fabinyi Rudolf dr. egyetemi tanár úrnak, ki munkaakarásomnak themát és tartalmat adott, Ruzitska Béla dr. egyetemi rendkívüli és Széki Tibor dr. egyetemi magántanár uraknak, kik a részletek nehézségein átsegítettek, köszönetet mondok.

TÖRTÉNET.

Molekulavolumen jelenti az anyag discontinuus részei elfoglalta tényleges térfogatot, vagy — s ez használtabb értelmezése — valamely elem, vagy vegyület molekulagrammjától betöltött térrészt. Ez utóbbi értéket, mely (az allotropia eseteit kivéve) állandó hőfokon és nyomáson *állandó*, a cm^3 dimensiojú $\frac{\text{molekulagramm}}{\text{sürűség}}$ hányados fejezi ki. Az atomvolumen — elemi, vagy vegyületben levő grammatom elfoglalta térfogat — a molekulavolumennel ellentétesen ugyanegy hőfokon és nyomáson is változó értékkel lép föl. Az anyag szerkezetéről alkotott mai felfogásunk szerint „szabad“ és „kötött“ atomvolumenről nem beszélhetünk, hanem csakis elemi és vegyületben lévő atomvolumenről. A molekulavolumen egészszámú többszöröse az *elemi* atomvolumennek. Pl. az As_4 molekulavolumene 81,48 cm^3, az As atomvolumene 20,37 cm^3. A vegyületben lévő atomvolumen nem egyszerű törtrésze a molekulavolumennek, hanem annál aszerint kisebb vagy nagyobb, amint a vegyület contractióval vagy dilatatióval keletkezett. A keletkezéskor fellépő térfogatváltozás törvénye (Gay—Lussac) gázoknál régóta ismert s az a terra incognita, melyet a szilárd testekre való törvénykeresés maga előtt talált, okozhatta-e fontos kérdéssel való gyér foglalkozást s talán azt a természettudományos köztudatot is, hogy a szilárd testek keletkezése ebből a szempontból szabályba nem foglalható.

Az e kérdéssel foglalkozók speculative, energetikai vonatkozásokban és összehasonlítással keresték a megoldást. Mindnyájok, a molekulavolumenéhez hasonlóan, az atomvolumen $\frac{\text{grammatom}}{\text{sürűség}}$ concret értelmezését vették alapul s legfeljebb —

régebben — az atomsúly egységében tértek el, vagy sürűségekkel számítottak.

Elsőnek [1] a legközelebb fekvő feltevéssel Dumas és Le Royer (1821) indul a kutatásnak: szilárd testekre is érvényes a Gay Lussac törvény! Két évvel később (1823) Herapath az oxydokban foglalt O volumenét a fém elemi volumenének levonásával akarja meghatározni. Berzelius (1826) mutat rá az itt elkövetett hibára; felveti a kérdést, hogy vajjon a fém volumene „szabad“ és „kötött“ állapotban egyenlő-e? S ezzel a kérdés lényegére helyezi a fősúlyt. A problema további tisztázása Karstennek jut (1824), ki két kérdésre keres feleletet. 1. A molekulavolumen egyenlő-e az elemi atomvolumenek összegével? 2. Ha igen, binär vegyületeknél az egyik componens atomvolumenét állandónak tételezve fel, a másik componens atomvolumenéül, annak minden vegyületében, ugyanazon érték adódik e? Számításaiban a $c' = \frac{(m+n)\,ab}{mb+na}$ képletet használja, melyben a és b sürűségü m és n tömegű componensnek sürűsége c', ha térfogatváltozás nélkül keverednek. A kisérletileg meghatározott c sürűség ennél nagyobb, $c > c'$, dilatatio s kisebb, $c < c'$, contractio esetén. 1. kérdésére e számítások nemleges feleletet adtak. Továbbiakban az egyik componens, pl. A sürűségét (a) állandónak tételezve fel a másik változott sürűségét $\beta = \frac{nac}{(m+n)\,a-mc}$ számítja, minek eredményeül ugyancsak nemleges feleletet nyer (2.). Eredményei eszerint: 1. az atomvolumen változó, 2. s ez a változott volumen nem állandóan ugyanaz minden vegyületben. Hasonló irányban kutatott Boullay (1830). Ammermüller ugyanazon elemeket különböző arányban tartalmazó vegyületekkel foglalkozott. Feltünt neki (s másnak is előtte, anélkül, hogy valamelyes következtetést vontak volna ebből a tényből), hogy a magasabb fémtartalmúak sürűsége a kisebb. Pl. $CuO : d = 6{,}43$, $Cu_2O : d = 5{,}95$; de egyenlő fémmennyiségre számított molekulavolumenük egyenlő, $Cu_2O_2 = 24{,}70$ és $Cu_2O = 24{,}86$. Többi példái kevésbbé meggyőzőek, mert csak megszorítások árán illeszkednek fenti sza-

[1] A történeti rész irodalmi utalásai, Richards és Wolfon kívül, W. Ostwald: Lehrbuch der allgemeinen Chemie I. részében találhatók.

bályba. Így MoO_2 kétszer veendő, hogy MoO_3-al egyenlő molekulavolument adjon; $3 \times SnS = 4 \times SnS_2$ stb. Kutatásainak eredménye: egyazon elemeket különböző arányban tartalmazó vegyületek molekulavolumene egyenlő, vagy egyszerű rationális viszonyban áll egymással. Ugyancsak 1840-ben fejezte ki Schröder idevágó felfogását. A Cu_2O és CuO esetére alkalmazva ez abban áll, hogy az egyenlő térfogatú O tömege 1:2 arányban állván, az O különböző atomvolumennel szerepel, de ezek egyszerű rationalis viszonyban állanak egymással. Tételei általánosságban: a molekulavolumen a componensek atomvolumenjeinek összege; ugyanazon elem különböző, de egyszerű rationalis viszonyban álló atomvolumeneket vehet fel. Schröder későbbi kifejtései teljesen ellentétesek fenti nézeteivel. Ezek szerint az atomvolumen nem állandó, hanem a molekula összes atomjától függ olyképen, hogy a vegyületet a különböző elemek egyenlő atomvolumenekkel építik föl. Pl. az $Ag = 10{,}28$ (atomvolumen) halogenvegyületeiben 5,14-el szerepel. Ez értékeket Schröder „ster"-eknek nevezi (talán le stère = 1 m³ [ürmérték száraz testek részére] szó után). $AgCl = 25{,}7 = 5 \times 5{,}14$, $AgBr = 30{,}8 = 6 \times 5{,}14$ és $AgJ = 41{,}1 = 8 \times 5{,}14$. Ez esetben az Ag-ra 2, a Cl-ra 3, a Br-ra 4 és a J-ra 6 ster esik. A Hg halogen vegyületeiben a Hg-ra 3 ster esik, melyek értéke $5{,}52 \times 3$. A Cl-ra itt szintén 3 s a Br-ra szintén 4. $HgCl = 33{,}1 = 6 \times 5{,}52$ és $HgBr = 38{,}6 = 7 \times 5{,}52$. Ugyanazon atom volumene pl. a Cl-é különböző vegyületében különböző (5,14 és 5,52) s ez értékek nem is állanak egyszerű rationalis viszonyban. Ez a felfogás valószinűtlen. Különösképen nehezen képzelhető, hogy miért és miként kényszerítheti egyik atom a vele egy molekulában foglalt többit, ugyanannak a volumennek felvételére. Később (1876) Hermann irrationalis condensatiocoefficienseket (1,08, 1,083 stb.) vesz fel s egy tételt állít igaznak, mely szerint analog vegyületek molekulavolumenei arithmetikus sorokat alkotnak. A halogen vegyületek többek közt $12{,}5 + n\,12{,}5$ stb. Edward Wilson (1881) megmarad Schröder hívéül azzal a változtatással, hogy nem az elemi atomvolument, hanem ennek egészszámú sokszorosát tekinti alapértéknek. A néha 7-szeres, sőt 9-szeres atomvolumenek mellett kapott egyező értékei semmit sem bizonyítanak.

Nordenskjöld a gázelmélet felhasználásával szilárd testekre nézve felállítja az

$$\frac{M}{\sqrt[3]{S}} = \frac{m}{\sqrt[3]{s}} + \frac{m'}{\sqrt[3]{s'}} + \frac{m''}{\sqrt[3]{s''}} + \dots$$

theoreticus függvényt, mint amely szerinte a keresett vonatkozást kifejezi. M a grammmolekula tömege, S a sűrűsége, m, m′, m″. . . a componens grammatomok tömege és s, s′, s″. . . a sűrűsége ezeknek. E kifejezésre vonzó és taszító erők között fennálló molekularis egyensúly vezeti. A vonzónak az általános tömegvonzást kell követnie $= \frac{m}{r^2}$. A gázak analogiájára — a nyomás (állandó hőmérséken) a volumennel fordítva arányos — két nyugvónak tekintett molekulát távolságuk $\frac{1}{n}$-ére hozandó a volument $\left(\frac{1}{n}\right)^3$-ra kell csökkenteni. Innen a taszító erő $= \frac{c}{r^3}$ ($c =$ const.). $\frac{m}{r^2} = \frac{c}{r^3}$ és $c = m\,r$. De r, két molekula egymástól való távolsága arányos a volumen $v = \frac{m}{s}$ ($s =$ sűrűség) harmadik gyökével és $c = m \sqrt[3]{\frac{m}{s}}$. Nordenskjöld itt *felteszi*, hogy érvényes a

$$\frac{C}{\sqrt[3]{M}} = \frac{c}{\sqrt[3]{m}} + \frac{c'}{\sqrt[3]{m'}} + \frac{c''}{\sqrt[3]{m''}} + \dots$$

egyenlet, melyből az első függvény következik. Táblázataiban megfigyelés és számítás úgy-ahogy egyeznek. De ez az egyeztetés a componensek sűrűségének megkétszerezésével, megháromszorozásával sikerül csupán. Nordenskjöld okoskodásával megoldásra nem talál, feltevései meg nem okoltak és pusztán algebrai viszonyosságok a kérdés természetét fel nem deríthetik. Mindazonáltal ő az első, aki energetikai vonatkozásokat keres s ebben elődje az atomvolumen problémája mai nagy kutatójának: Richardsnak. Az atomvolumenváltozást Richards[1] az affi-

[1] Th. W. Richards: Die Bedeutung der Änderung der Atomvolume. I., II., III. és IV. Zeitschr. f. phys. Chemie XL., XLII. és XLIX. kötet.

nitással, compressibilitással s reaktiohővel hozza vonatkozásba. Elsővel akként, hogy a térfogatváltozás az affinitások munkája volna; másodikkal közvetve akként, hogy az az affinitással fordítva nő és csökken; harmadikkal egy valószinűség kimondásában, mely szerint a reactiohő forrása az affinitások térfogatváltoztató munkája. Kimondja, hogy az atomvolumen változó s *a környezettől függ.* Változását ugyanis a componensek önés egymáshoz való affinitása határozza meg. Ez affinitások a compressibilitással akként függnek össze, hogy minél jobban comprimált egy test, minél kisebb az atomvolumene, annál nagyobb önaffinitása. Bizonyításul: a legnagyobb atomvolumenű elemek (pl. Rb, Cs, K, F stb.) maradnak legkevésbé elemállapotban, mert önaffinitásuk csekély. Minde fejtegetéseiben Richards az affinitásnak pontos értelmezését nem adja, mert ily általánosan ma még nem is adhatja. Megokolásaiban a compressibilitas rendelkezésre álló adatait, mert igen kevés ismeretes, sem használja, hanem egy megközelítő értéket vezet le. Ez az az ellenállás, melyet valamely test hőokozta térfogatváltozással szemben kifejt. A constitutio (kristályszerkezet, halmazállapot stb.) változása nélkül a hőenergia változása = a volumenergia változásával, $C\,dt = P\,dv$; a hőokozta térfogatváltozással szemben kifejtett ellenállás innen: $P = \frac{C\,dt}{dv}$. (A reversibilitas és egyensúly fogalmából; a légnyomás az itt szereplő nagy értékek mellett elhanyagolható.) A térfogattal P értéke valószinűleg változik s ezért e kifejezés a compressibilitas adatainak helyettesítésében *megközelítő.* Általános összefüggést Richards *nem* talál s „affinitását" az említett második vonatkozáson kivül ez a formula sem teszi szabatosabbá. Csupán a Zn O és Hg O különböző dissociálhatóságát okolja meg feltevései alapján, deductive. A Zn O contractiója = 19,5, a Hg O = 19,8 ccm. Különben egyenlő comprimáltság mellett egyenlő contractiókból közel egyenlő affinitásra (és dissociálhatóságra is) következtethetnénk. De a Zn O sokkal nehezebben dissociál, mint a Hg O. Energiahányadosaik: $P_{Zn} = 310000$, $P_{Hg} = 196000$ megadyn/cm². Az erősen comprimált Zn O-al való vegyüléskor kevésbé nyomódik össze, mint a kevésbé comprimált Hg. (T. i. nagyobb comprimáltság mellett valamely test a további összenyomással szemben nagyobb

ellenállást fejt ki, mint a kevésbé comprimált.) Ha mégis egyenlők a contractiók, ez onnan van, hogy a Zn O-ban foglalt 16 g O jobban contrahal, nagyobb önaffinitást vesz fel, mint a Hg O-ban foglalt; *s nehezebben dissociál.* A P értékre nézve észreveszi azt, hogy rokon-elemek (mint Zn és Cd) esetében csökkenő atomsúlylyal növekszik (Cd = 214000 és Zn = 310000 megadyn/cm²) és hogy bár ***kivételekkel*** bizonyos összefüggést mutat az olvadás- és forrásponttal. A harmadik és legnagyobb feltevését Richards akként igazolja, hogy chloridok és bromidok két atom chlórra, illetve brómra eső contractióját képződési hőikkel hasonlítja össze. Ezt a módszert választja, mert a fém térfogatváltozása a chlóréhoz és bróméhoz képest elhanyagolható. Az összefüggés szembeszökő. Az ezer nagy nehézség, mely Richards kutatásait nehezíti, reákényszerítette őt annak a kérdésnek felvetésére: vajjon a térfogatváltozás munkája a reactióhővel egyenlő-e vagy azzal más függésben áll-e? Ennek felderítése a chemia egyik legnagyobb és legnehezebb problémája. Újabban szerencsés kézzel egy igen szemléltető kifejezésmódot vezetett be az $\frac{\text{atomvolumenváltozás}}{\text{képződéshő}} \times 100$ hányados formájában, mely kifejezi, hogy 100 kilojoule hány ccm térfogatváltozásnak felel meg. Elsősorban kisérletileg meghatározta a Li, Na, K, Cl, Br és J compressibilitását (az elem egy litere egy kilógramm nyomásnövekedésre alanti literrel nyomódik össze):

Li = 0,000011	J = 0,00 013
Na = 0,000018	Br = 0,000061
K = 0,000032	Cl = 0,000110 [1] (?)

Feltevése szerint nagyobb compressibilitás esetén e hányados is nagyobb. Ezt a Li, Na és K halogenvegyületei igazolják:

Haloid	Contractio	Képződéshő	Hányados	Haloid	Contractio	Képződéshő	Hányados
Li Cl	16,8 ccm	383 kj	4,4	Li Cl	16,8 ccm	383 kj	4,4
Na Cl	21,5 „	399 „	5,4	Li Br	13,0 „	334 „	3,9
K Cl	32,2 „	427 „	7,6	Li J	5,3 „	257 „	2,1

[1] Interpolatióval meghatározva.

Haloid	Contractio	Képződéshő	Hányados	Haloid	Contractio	Képződéshő	Hányados
Li Br	13,0 ccm	334 kj	3,9	Na Cl	21,5 ccm	399 kj	5,4
Na Br	15,0 „	359 „	4,2	Na Br	15,0 „	359 „	4,2
K Br	26,3 „	398 „	6,6	Na J	8,0 „	289 „	2,8
Li J	5,3 „	257 „	2,1	K Cl	32,2 „	427 „	7,6
Na J	8,0 „	289 „	2,8	K Br	26,3 „	398 „	6,6
K J	16,9 „	335 „	5,1	K J	16,9 „	335 „	5,1

A megegyezés teljes a feltevéssel.

A régiek közül összehasonlító módszert alkalmazott Kopp. Levonta nehéz fémsók molekulavolumenéből a fém elemi atomvolumenét; s mivel sok esetben azt találta, hogy a maradék egy-egy savmaradékra vonatkoztatva egyezik, mindent a nehéz fémek atomvolumenének változatlanságára alapított. Az így számított savmaradékvolument könnyű fémek sóiból levonva, azok vegyületben levő atomvolumenét vélte kiszámíthatni. Ezt az elemitől különböző atomvolument a könnyű fémek összes vegyületeikben megtartják. Pl. $CO_3 = 24{,}2$ (nehézfémcarbonatokból); ez értékkel könnyű fémek carbonatjaiból: $NH_4 = 17{,}4$, $Ba = 22{,}9$, $Ca = 9{,}6$, $K = 18{,}7$, $Mg = 6{,}4$, $Na = 10{,}4$ és $Sr = 17{,}3$. Sulfátoknál már megszorítás szükséges, $CuSO_4$, Ag_2SO_4 $ZnSO_4$, $CaSO_4$, $MgSO_4$ és Na_2SO_4-nél $SO_4 = 37{,}8$; $PbSO_4$, $BaSO_4$, K_2SO_4 és $SrSO_4$-et $SO_4 = 29{,}8$ elégíti ki. Cl 15,7 és 19,8 értékkel szerepel, $O = 2{,}56$; 5,1 és 10,2, $S = 8{,}5$; 15,0 és 17,6. Br és J-nál is több érték ad egyezést. A nehéz fém atomvolumenének állandóúl való feltételezése teljesen önkényes, méginkább a könnyű fémek volumenének akként való változása, hogy ezt a változott volument vegyületeikben megtartják. A sulfatoknál pl. rokon vegyületek, mint $CaSO_4 — BaSO_4 — SrSO_4$ és $Na_2SO_4 — K_2SO_4$ felépítésében a savmaradék két különböző értékkel szerepelne! Schröder analog vegyületeket hasonlított össze egymással s azt találta, hogy ezek atomvolumenjeinek különbsége megfelelő csoportosítás mellett egyenlő. A, B, C kation a, b, c anionnal való vegyületei így csoportositandók:

A + a	A + b	A + c
B + a	B + b	B + c
C + a	C + b	C + c

E jelenséget parallelosterismusnak s a párokat parallelostereknek nevezte. Paralleloster pl. A + a és A + b B + a és B + b-vel, ugyancsak A + a és B + a A + b és B + b-vel, azaz atomvolumenjeik különbsége egyenlő. Definitive következik (s levezethető), hogy paralleloster vegyületekben az *azonos componenseknek egyenlő térfogatot kell betölteniök*. Úgy a definitió, mint következése igen labilis, egyrészt, mert meg nem okolható, hogy miért vennének fel az azonos componensek különböző vegyületeikben egyenlő térfogatot, másrészt, mert a mai, helyesbített sűrűségekkel számított atomvolumenekkel alkotott csoportok a definitiót sem fedik. Pl.

Kopp számítása szerint:			1912-iki értékek szerint:		
KCl = 37,4	NaCl = 27,1	AgCl = 25,9	KCl = 37,7	NaCl = 27,2	AgCl = 25,8
KBr = 44,3	NaBr = 33,8	AgBr = 31,8	KBr = 44,2	NaBr = 34,2	AgBr = 29,0
KJ = 54,0	NaJ = 43,5	AgJ = 42,0	KJ = 54,1	NaJ = 42,2	AgJ = 41,5

Differentiák:		Differentiák:	
K—Na = 10,3; 10,5; 10,5.	Br—Cl = 6,9; 6,7; 5,9.	K—Na = 10,5; 10,0; 11,9.	Br—Cl = 6,5; 7,0; 3,2.
K—Ag = 11,5; 12,5; 12,0.	J—Cl = 16,4; 16,4; 16,1.	K—Ag = 11,9; 15,2; 12,6.	J—Cl = 16,4; 15,0; 15,7.

Egyetlen modern munka, mely annyiban tartozik az összehasonlító irányhoz, hogy megkezdi elsőként a rendszeres anyaggyűjtést: magyar.[1] Fabinyi professor utasításai és intentiója szerint indíttatott meg s került ki W. Wolf Ottó kezei közül. A fluoridok, chloridok, bromidok, jodidok, oxydok, sulfidok, carbonatok, sulfátok és nitratok keletkezésénél fellépő térfogatváltozás kilenc táblázatban százalékban kifejezve található. E kifejezésmód magában igen szemléltető, de feleslegessé válik, amint a térfogatváltozás más tulajdonsággal jön kapcsolatba (lásd pl. Richards hányadosát) s elegendő az atomvolumenváltozás kifejezése. Wolf 12 carbonatra számított értékei 59,27—72,36 között foglalnak helyet s ez a kis intervallum, azaz a carbonatok keletkezésénél fellépő contractio kevéssé változó volta érteti meg velünk, hogy Kopp mint érhette be a carbonat-

[1] I. Contractio és dilatatio a vegyületek képződésénél. II. Isomer vegyületek égési hője. Bölcsészet-doctori értekezés. Irta W. Wolf Ottó okl. kohómérnök. Kolozsvár, 1905.

savmaradékra vonatkozó egy értékkel számítva. „Összefoglalására“ a következőkben, ott, ahol ez érintetik, visszatérek.

Ennyi *a szilárd testek* keletkezésénél fellépő térfogatváltozásról elgondoltak, megirottak. A kutatás megindult, majd elakadt, hogy nekilendűljön, s ma előtérben áll a problema. És lesz idő, amikor vezetni fog, mert döntő fontosságú az anyag szerkezetéről való felfogásunk realisálására.

ELMÉLET.

Az anyag megválasztása. Az atomvolumen és molekulavolumen értéke egyazon halmazállapoton belől a sürűségtől, ezé pedig a hőmérséktől függ. A atomvolumenváltozás vizsgálatánál előjöhet olyan eset, mely részben folyékony componensek szilárddá vegyülésében áll, vagy megfordítva. (A légnemű halmazállapotot, itt, tisztán condensalt rendszerek vizsgálatánál, teljesen kikapcsoljuk.) Ilyen esetekben, amidőn tehát entropiás pontok áthaladásáról van szó, ha az atomvolumenváltozást egyértelművé akarjuk tenni, keresnünk kell valamely elfogadható megállapodást. Érvényes, hogy *az atomvolumenváltozás csupán a kezdet és végállapottól függ.* Egyértelműleg eszerint:

> *az atomvolumenváltozás értéke az a különbség, mely légköri nyomáson és szobahőmérséken a componens grammatomok térfogatának összege s a grammmolekulavolumen között fennáll.*

(A szobahőmérséken belöli, pl. 17,5 C°-ra vonatkozó megállapítás fölösleges, mert a szilárd anorganos elemek és vegyületek sürűségének változása e hőmérsékhatárokon belől elhanyagolható.)

Szilárd — folyós componensek esetén két lehetőség forog fenn. 1. A folyós componens szobahőmérséken existal. 2. a folyós componens csakis igen alacsony hőmérséken (esetleg nagy nyomás alatt) létezik. Első esetben az atomvolumenváltozás egyértelműleg meghatározott s ha a képződéshővel akarjuk azt összehasonlítani, hogy az egyértelműség ez összehasonlításban is fennálljon, le kell vonnunk a képződéshő értékéből a szilárddá lett folyós componens olvadás hőjét, mert a képződéshőben ez is bennfoglaltatik. Bromidok képződéshőjéből grammatom Br-ként

3 kj-t, a higanyvegyületekéből grammatom Hg-ként 2 kj-t kell levonni. Ezek a correctiók azonban nagy képződéshők esetén mellőzhetők. (Ez a levonás természetesen abban az esetben szükségeltetik, ha az atomvolumenváltozás szilárd Br-ra, illetve szilárd Hg-ra vonatkozik.) Második esetben az atomvolumenváltozás meg sem állapitható egyértelműleg. F, Cl, O és N légköri nyomáson és szobahőmérséken folyósan nem léteznek; folyékony halmazállapotra számított atomvolumeneikkel felvett atomvolumenváltozások illusoriusak s bizonyítás anyagául nem igen szolgálhatnak.[1] Hogy fluoridok, chloridok, oxydok és nitridek egymásközti összehasonlítása némi megközelítést adjon, képződéshőikből (melyek az anion légnemű halmazállapotára vonatkoznak) levontam párolgási hőiket. Minden Cl után 18,6, O után 5,5 és N után 7,8 kj-t; a F párolgási hője nincs meghatározva. Ezt a levonást rationalissá teszi a forráspontra és folyós halmazállapotra vonatkoztatott atomvolumen. Olyan esetekben, melyekben atomvolumenül több érték kínálkozott, az az elv volt irányadó, hogy a választott atomvolumen változása tisztán csak az elemiből vegyületben levővé alakulásban álljon, meg ne változzék a constitutió (kristályszerkezet stb.). Innen, ahol csak lehetséges az allotropiák közül mindig az amorph szerepel. Emellett szól az is, hogy amorph testeknél „irányító erők“ (Richards) s azok munkái nem szerepelnek. Minthogy a képződéshők nagyobb részt Hess törvénye alapján közvetve határoztattak meg, kristályos módosulatot csak a közvetlen synthesis kiemelt eseteiben kellett felvennem. Szén mindig gyémánt $\alpha C = 3{,}42$ ccm-rel. Az atomsúlyok az 1912. internationalis értékek, a sürűségek pedig Landolt—Börnstein—Roth „Physikalisch — chemische Tabellen“ 4. 1912. kiadásából kikeresett legújabb s legmegbizhatóbb értékek.[2] Az I. táblázat a

[1] Ezt a tényt legtöbbször semmi figyelemre sem méltatták s az irodalom telve definiálatlan bizonyításokkal, melyek ez okból helytelenül lettek megalapozva.

[2] Hogy mekkora eltérések vannak régi és új meghatározások közt, arra nézve közlök nehány adatot. Ta sürűsége 10,08 Thannál, 16,64 a táblázatokban; Zr sürűsége 4,14 Thannál, 6,4 a táblázatokban. Itt fontossággal különösképen a Na_2O sürűsége bír, mint amely még alapja lesz egy szá-

növekvő atomsúly rendjében az elemek ez értékeit s az azokból számított atomvolument tartalmazza. Oly esetekben, melyekben atomvolumenül több érték adódik, a további számításokban szereplő dőlten van nyomtatva.

I. TÁBLÁZAT.

Az elemek atomsúlya, sürűsége és atomvolumene.

Az elem neve	Jele	Atomsúlya	Sürűsége	Atomvolumene	*Megjegyzés*
Hydrogenium	*H*	*1,008*	*0,0754*	*13,37*	*Folyós — 258,29 C°-on*
			0,0763	13,21	Szilárd – 259,9 C°-on.
Helium	He	3,99	0,112	35,62	
Lithium	Li	6,94	0,552	12,57	
Beryllium	Be	9,1	1,93	4,72	
Bor	B	11,0	2,45	4,49	Amorph.—Gyémánt- és graphitszerű Al és C tartalmú.
Carboneum	C	12,00	3,514	3,42	Gyémánt.
			2,25	5,33	Graphit.
			1,91	*6,28*	*Amorph. (Schungit).*
Nitrogenium	*N*	*14,01*	*0,89*	*15,74*	*Forrásponton — 194,4 C°-on folyós.*
			1,0265	13,65	Szilárd — 252,5 C°-on.
Oxygenium	*O*	*16,0...*	*1,12*	*14,29*	*Forrásponton — 181,4 C°-on folyós.*
			1,27	12,60	Olvadáspont — 227 C°-on folyós.
			1,4256	11,22	Szilárd — 252,5 C°-on.
Fluor	F	19,0	1,108	17,15	Forrásponton — 187 C°-on folyós.
Neon	Ne	20,0	—	—	
Natrium	Na	23,0	0,972	23,66	
Magnesium	Mg	24,32	1,74	13,98	
Aluminium	Al	27,1	2,583	10,49	
Silicium	Si	28,3	2,34	12,94	Gyémántszerű.

mításnak; Thannál 2,805 (Karsten meghatározása), a táblázatokban 2,27 (Rengade C. R. 144. 753.). Karsten készítménye szennyezve volt!

Az elem neve	Jele	Atom-súlya	Sűrű-sége	Atom-volu-mene	*Megjegyzés*
Silicium	Si	28,3	2,00	14,15	Graphitszerű.
			2,35	*12,04*	*Amorph.*
Phosphor	*P*	*31,04*	*1,83*	*16,96*	*Fehér.*
			2,25	13,80	Vörös.
			2,32	13,38	Fémes.
Sulphur	S	32,07	2,07	15,49	Rhombos.
			1,96	16,33	Monoklin.
			1,92	*16,70*	*Amorph.*
Chlor	Cl	35,46	1,568	22,61	Forrásponton — 33,6 C⁰-on.
Argon	Ar	39,88	1,212	32,90	
Kalium	K	39,10	0,870	44,94	
Calcium	Ca	40,07	1,52	26,36	
Scandium	Sc	44,1	—	—	
Titan	Ti	48,1	4,50	10,69	
Vanadium	V	51,0	5,5	9,27	
Chrom	Cr	52,0	6,92	7,51	
Mangan	Mn	54,93	7,421	7,40	
Ferrum	Fe	55,84	7,86	7,10	
Nickel	Ni	58,68	8,8	6,67	
Cobalt	Co	58,97	8,8	6,70	
Cuprum	Cu	63,57	8,93	7,12	
Zincum	Zn	65,37	7,1	9,21	
Gallium	Ga	69,9	5,92	11,81	
Germanium	Ge	72,5	5,459	13,28	
Arsen	As	74,96	5,723	13,09	Kristályos.
			3,68	*20,37*	*Amorph.*
Selen	Se	79,2	4,78	16,57	Fémes.
			4,49	17,64	Monoklin.
			4,26	*18,59*	*Amorph.*
Bróm	Br	79,92	3,14	25,45	Folyós.
					Szilárd.
Krypton	Kr	82,9	2,155	38,47	Folyós ca. — 146 C⁰-nál.

Az elem neve	Jele	Atom-súlya	Sűrű-sége	Atom-volu-mene	*Megjegyzés*
Rubidium	Rb	85,45	1,532	55.78	
Strontium	Sr	87,62	2,54	34,50	
Yttrium	Y	89,0	3,80	23,42	Árúbeli.
Zirconium	Zr	90,6	6,4	14,16	
Niobium	Nb	93,5	6,96	13,43	
Molybdän	Mo	96,0	9,01	10,65	
Ruthenium	Ru	101,7	12,063	8,44	
Rhodium	Rh	102,9	12,1	8,50	
Palladium	Pd	106,7	11,9	8,97	
Argentum	Ag	107,88	10,49	10,28	
Cadmium	Cd	112,40	8,648	13,00	
Indium	In	114,8	7,12	16,12	
Stannum	*Sn*	*119,63*	*7,28*	*16,35*	*Fehér.*
			5,8465	20,46	Szürke.
Stibium	Sb	120,2	6,62	18,16	
Tellur	Te	127,5	6,25	20,40	Kristályos.
	Te	127,5	6,157	20,71	Kristályozott.
			6,015	*21,20*	*Amorph.*
Jod	J	126,92	4,933	25,73	
Xenon	Xe	130,2	3,52	36,99	Folyós — 102 C°-on.
Caesium	Cs	132,81	1,87	71,02	
Baryum	Ba	137,37	3,78	3 ,34	
Lanthan	La	139,0	6,15	22.60	
Cerium	Ce	140,25	7,04	19.92	
Praseodymium	Pr	140,6	6,47	21,73	
Neodymium	Nd	144,3	12,7	11,37	
Samarium	Sa	150,4	7,75	19,41	
Europium	Eu	152,0	—	—	
Gadolinium	Gd	157,3	—	—	
Terbium	Tb	159,2	—	—	
Dysprosium	Dy	162,5	—	—	
Erbium	Er	167,7	4,77	36,16	

Az elem neve	Jele	Atom-súlya	Sűrű-sége	Atom-volu-mene	*Megjegyzés*
Thullium	Tu	168,5	—	—	
Ytterbium	Yb	172,0	—	—	
Lutetium	Lu	174,0	—	—	
Tantal	Ta	181,0	16,64	10,88	
Wolfram	W	184,0	19,1	9,63	
Osmium	Os	190,9	22,48	8,49	
Iridium	Ir	193,1	22,4	8,62	
Platina	Pt	195,2	21,4	9,12	
Aurum	Au	197,2	18,884	10,44	
Hydrargyrum	*Hg*	*200,06*	*13,55*	*14,80*	*Folyós.*
			14,193	14,09	Szilárd — 38,85 C°-on.
Thallium	Tl	204,0	11,85	17,22	
Plumbum	Pb	207,10	11,342	18,26	
Bismut	Bi	208,0	9,78	21,27	
Nitron	Nt	222,4	—	—	
Radium	Ra	226,4	—	—	
Thorium	Th	232,40	11,0	21,13	
Uranium	U	238,5	18,7	12,75	

Primär atomvolumenváltozás. Önmagában, elvonatkoztatva a chemiai energia nyilvánulásaitól, azt a tényt, hogy vegyületben a componensek atomvolumene az elemitől eltérő, másra, mint a volumenergia változására vissza nem vezethetnők. Ennek tényezői: nyomás és térfogatváltozás. Utóbbira törvényszerüséget keresünk; előbbi ismert és egyenlő a térfogatváltoztatással szemben fellépő ellenállással. A történetben említettem, hogy a compressibilitas (melyre vonatkozólag alig néhány adat áll rendelkezésre) helyettesíthető azzal az ellenállással, mely a hőenergia térfogatváltoztató munkájával szemben fellép. $P = \frac{C\,dt}{dv}$-vel. E differentialis összefüggés kis hibával kiterjeszthető arra az esetre, ha a hőmérsék 1 C°-al változik. C = a grammatom hőkapacitása,

$\Delta t = 1$ és $\Delta v =$ az atomvolumenváltozás. Az itt szereplő mennyiségek dimensiói: C = joule, $\Delta v =$ ccm és

$$P = \frac{\text{joule}}{\text{cm}^3} = \frac{10^7 \text{ erg}}{\text{cm}^3} = \frac{10.10^6 \text{. dyn. cm}}{\text{cm}^3} = 10 \text{ megadyn/cm}^2$$

A P energiahányados 35 elemre volt kiszámítható, mely számításnál a sűrűség s a jouleban kifejezett fajhő értékeinek szorzatát a köbös kiterjedési coefficiens értékével osztva a

$$P = \frac{\text{sűrűség} \times \text{fajhővel}}{\text{köbös kiterj. coeff.}}$$

egyszerűsítést követtem. Pl. a Na sűrűsége 0,972, fajhője 1,127 és köbös kiterjedési coefficiense 0,0002136.

$$P_{Na} = \frac{0{,}972.\,1{,}127}{0{,}0002136} = 51290 \text{ megadyn.}$$

II. TÁBLÁZAT.

Elemek $P = \frac{C\,dt}{dv}$ energiahányadosa, olvadáspontja, forráspontja és Rydberg szerinti keménysége.

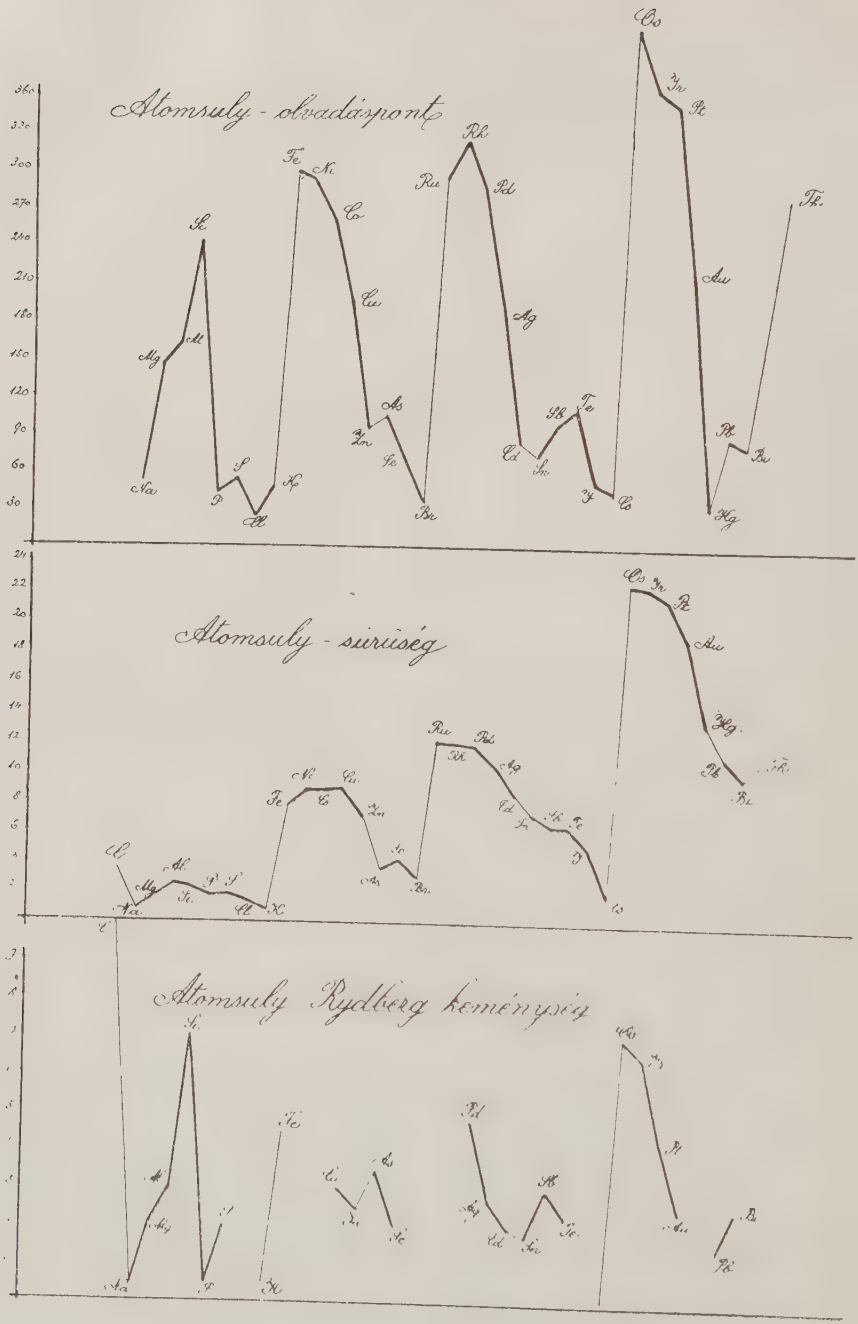
Elem	Fajhő joule	Köbös kiterjedési coefficiens $\times 10^{-7}$.	Energiahányados megadyn/cm²	Olvadáspont C°	Forráspont C°	Sűrűség	Keménység Rydberg szerint
C	0,641	.35	6451000	4400°		3,514	10,0
Na	1,127	.2136	51290	97,5°	877,5°	0,972	0,4
Mg	1,027	.762	234500	650°	1120°	1,74	2,0
Al	0,874	.715	315700	657,3°	1800°	2,583	2,0
Si	0,767	.229	787100	1458°		2,35	7,0
P	0,710	.2046	74960	44°	287,3°	1,83	0,5
S	0,682	.1840	72824	112,8°	444,7°	1,92	2,0
Cl	0,946	.20300	7307	−101,5°	−33,7°	1,568	
K	0,695	.2477	24190	62,5°	757,5	0,870	0,5
Fe	0,486	.333	1147000	1804°		7,86	4.5
Ni	0,453	.383	1041000	1452,3°		8,8	
Co	0,431	.370	1025000	1489,8°		8,8	

Elem	Fajhő joule	Köbös kiterjedési coefficiens $\times 10^{-7}$.	Energiahányados megadyn/cm²	Olvadáspont C°	Forráspont C°	Sűrűség	Keménység Rydberg szerint
Cu	0,387	.501	689800	1083°	>2200°	8,93	3,0
Zn	0,383	.851	319500	419,4°	942°	7,1	2,5
As	0,317	.168	694400	>800° *		3,68	3,5
Se	0,399	.1104	154000	217°	688°	4,26	2,0
Br	0,448	.11320	12430	—7,3°	58,6°	3,14	
Ru	0,256	.289	1145000	>1950°		12,063	6,5
Rh	0,243	.257	1144000	1970°		12,1	
Pd	0,230	.353	775400	1575°		11,9	4,8
Ag	0,230	.559	431600	960°	1955°	10,49	2,7
Cd	0,231	.864	231200	321,7°	770°	8,648	2,0
Sn	0,228	.641	258900	231,8°		7,28	1,8
Sb	0,205	.293	463200	629,5°	>1437	6,62	3,0
Te	0,199	.503	238000	231,8°		6,015	2,3
J	0,226	.2511	44400	113,4°	184,4°	4,933	
Cs	0,202	.3948	9567	26,5°	670°	1,87	0,2
Os	0,130	.197	1484000	2500°		22,48	7,0
Ir	0,135	.195	1551000	2300°		22,4	6,5
Pt	0,132	.269	1050000	1753°		21,4	4,3
Au	0,132	.421	592100	1062,4°	>2500°	18,884	2,5
Hg	0,140	.1820	104200	—38,5°	357,3°	13,55	
Pb	0,121	.827	166900	327,6°	1525°	11,342	1,5
Bi	0,127	.368	337500	271,5°	1420°	9,78	2,5
Th	0,136	.906	165100	1700°		11,0	

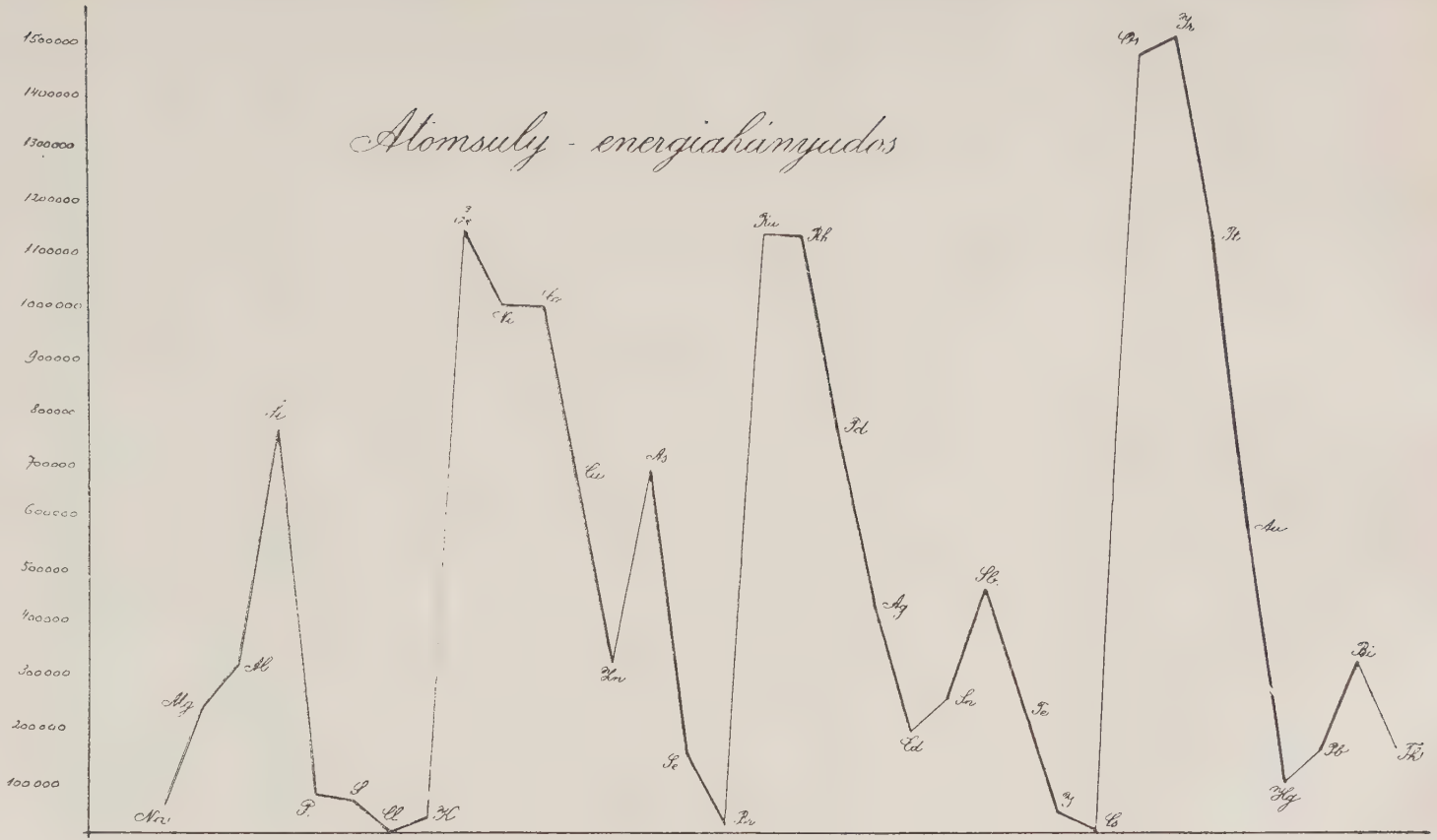
E számításokat a II. táblázat foglalja össze, mely az energiahányadost meghatározó sűrűségen, fajhőn és köbös kiterjedési coefficiensen kívül az olvadáspontot, forráspontot és Rydberg-keménységet is tartalmazza. Az elemek atomsúlyaik nagyságrendjében következnek, és a fentebb jelzett P értékeknek változása e nagyságrenden belül: *periodusos*. Az 1. ábra [1] (össze-

* Az As olvadáspontja nyomás alatt.

[1] Az összes görbéken a vékony vonal azt jelenti, hogy a periodusos rendszerben foglaltatik a két elem közt még elem; vastag vonal a közvetlenül következő elemeket jelzi.


Atomsuly - olvadáspont
Atomsuly - sűrűség
Atomsuly Rydberg keménység

1 grafikon


Atomsuly - energiahányados
1500000
1400000
1300000
1200000
1100000
1000000
900000
800000
700000
600000
500000
400000
300000
200000
100000

2 graphikon

hasonlítás céljából) az olvadáspont, sűrűség és keménység periodicitását tünteti fel, mely régtől ismert. A 2. ábra P energiahányados azonos összefüggését tárja fel az atomsúlylyal. Ennek a periodicitásnak jelentősége abban áll, hogy amennyiben a P energiahányados a compressibilitásnak is kifejezője (minél nagyobb P, annál kisebb emez), annyiban kimondható, hogy

az elemek összenyomhatósága atomsúlyaiknak periodusos függvénye.

Ez az összefüggés teljes. A hullámhegyek és hullámvölgyek épenúgy ismétlődnek, mint pl. az olvadáspont görbéjén. A kifejezetten + elemek a görbék baloldalán lépnek fel, a kevésbé + és — elemek a jobboldalon. A kis periodusok (Fe, Co, Ni—Ru, Rh, Pd—Os, Ir, Pt) után következő hullámhegyek legmagasabb pontján a metalloidok typusos képviselői, As, Sb és Bi foglalnak helyet.

P következőképen értelmezhető. Dulong—Petit törvénye szerint

$$a.\ f = \text{const} = 6{,}4\ \text{cal} = 26{,}77\ \text{joule},$$

hol a az atomsúly és f a fajhő. Ha s a sűrüség, α a köbös kiterjedési coefficiens és av atomvolumen, akkor

$$P = \frac{s.f}{\alpha} = \frac{s}{\frac{\alpha}{\text{const}}} = \frac{\text{const}}{\frac{a}{s} \cdot \alpha},$$

illetve minthogy $av = \frac{a}{s}$

$$P = \frac{\text{const}}{av.\alpha}$$

1. A nevező, $av.\alpha$ az atomvolumennek 1 C° hőmérsékváltozás okozta változása, mely a kifejezés szerint fordítottan arányos P hányadossal; vagy pedig $P.av\,\alpha = \text{const}$. P értéke tehát arányos

az 1 C°-ra eső atomvolumenváltozás fordított értékével.

(Ennek az értelmezésnek érvényessége annyira terjed, mint a Dulong—Petit törvényé.) P és az atomvolumenváltozás fordított-

sága Le Chatelier elvéből is következik s kifejezi azt, hogy minél nagyobb ellenállást vált ki a compressió, annál kevésbé változik meg az atomvolumen.

2. Minél nagyobb P, annál kisebb az atomvolumen. Itt az „ugyanegygyel egyenlőség" esete áll fenn, mert, ha P-nek periodusos függése az atomsúlylyal fennforog, fenn kell állania az atomvolumennel is, minthogy az utóbbiak összefüggése ismert (lásd: dr. Ruzitska Béla: Bevezetés az elméleti chemiába. II. Bővített kiadás. I. Tábla. Atomtérfogatok görbéje). A két görbe összehasonlítása szembeszökően mutatja az inversitást, hullámhegynek hullámvölgy felel meg és viszont.

3. Végül minél nagyobb P, annál kevésbé változik az elem térfogata a hőmérsékkel.

$A P = \frac{\text{const}}{\text{av.}\,\alpha}$ kifejezésből kiolvasott összefüggéseken kivül igen fontos az atomvolumenváltozásnak összefüggése a periodusos törvényen belül az olvadásponttal és forrásponttal. Általánosnak és igazoltnak tetszik Richards föltevése, hogy mint az olvadáspont és forráspont, úgy a P is az önaffinitásról némi felvilágosítást ad Ismétlem, hogy a nagy atomvolumenű, alacsonyabb olvadás- és forráspontu elemek, melyeknek P hányadosa kicsi, mint a halogenek és alkáli fémek, legkevésbé tartják meg kis önaffinitásukat, új affinitásokat igyekszenek felvenni, erősen reactióképesek. Általános kifejezést talál ebben a periodicitásban Richardsnak az a sejtése is, hogy P-vel, a compressibilitással és önaffinitással a mechanikai tulajdonságok is összefüggenek, mert úgy a II. táblázat, mint az 1. és 2. görbékből nyilvánvaló P és a Rydberg-keménység[1] parallelitása. (Talán ez alapon volna a még tágértelmű keménység végül is definiálható?)

[A vegyületben kötött atom volumenének vizsgálata így az elemi atomvolumenhez vezetett. Nevezzük ezt primär, a binär vegyületben levőét secundär, a ternärben levőét tertiärnek. A továbbiak igazolni fogják, hogy ez az elnevezés a viselkedés kifejezője.]

Összegezve: a primär atomvolumenváltozást kiválthatja

[1] Rydberg, Zeitsch. f. phys. Chem. XXXIII. 353. 1910.

1. a hőmérséknek, 2. a halmazállapotnak változása, 3. allotropiába való átmenet és 4. mechanikai nyomás.

A fentebbiekben nyert nézőpontból tekintve pl. az olvadás jelenségére vonatkozólag annyit mindenesetre előrebocsáthatunk, minthogy az olvadáshő nagyjában kifejezi a volumenergia változását, hogy a nagyobb P energiahányadosú elemek kevésbbé fogják térfogatukat a megolvadás következtében változtatni, mint a kisebb P-vel birók. Táblázatos összefoglalásban (III.) az elemek P nagysága szerint következnek. A viszonyosságot $\frac{C}{H} \cdot 100$ kifejezésmód eliminálja; e hányadossal P tehát direkt összehasonlítható.

III. TÁBLÁZAT.

Olvadás és atomvolumenváltozás.

Elem	Olvadáspont C°	Folyós av ccm	Szilárd av ccm	Atomvolumenváltozás C = ccm	Olvadáshő H = kj	Hányados $\frac{C}{H} \cdot 100$	P megadyn cm²
Cu	1083	7,1	7,1	0,0	11,3	0,0	689800
Ag	999	11,4	10,3	1,1	11,2	9,8	431600
Bi	266,8	20,8	21,3	—0,5	11,0	—4,6	337500
Zn	415,3	10,1	9,2	0,9	7,7	11,8	319500
Sn	232,7	17,1	16,4	0,7	7,0	10,0	258900
Cd	320,7	14,1	13,0	0,9	6,4	14,1	231200
Pb	325	19,4	18,3	1,1	5,1	21,6	166900
Hg	—38,85	14,8	14,1	0,7	2,4	29,2	104200
P	44,2	17,7	17,0	0,7	0,9	77,8	74960
S	115	17,1	15,5	1,6	1,3	123,1	72820

Secundär atomvolumenváltozás. A binär vegyületek atomvolumenváltozása nagyobbrészt szilárd halmazállapotra vonatkozik s ahol kivételesen folyékonyra, ott ez dült szedéssel jelezve lesz. A 360 vegyületre kiszámított értékek (IV. táblázat) a kation nagyságrendjében következnek. És pedig ugyanegy kationnak

homologjai az anion periodusesoportjai szerint s egy csoporton belől az anion atomsúlyrendjében. Elsők eszerint a fluoridok, chloridok, bromidok, jodidok (VII. csoport), majd az oxydok, sulfidok, selenidek és telluridok (VI. csoport), aztán nitridek, phosphidek, antimonidek [bismuthidok] (V. csoport), erre carbidok és silicidek (IV. csoport) s végül boridok (III. csoport) következnek. Ha fém nem-fémmel különböző viszony szerint több vegyületet képez, a magasabb nem-fém tartalmú kerül hátrább. Az atomvolumenváltozás rovatában + érték contractiót — érték dilatatiót jelent. Az összehasonlíthatóságot illetőleg szem előtt kell tartanunk az „anyag megválasztásában" előrebocsátottakat. Az egyértelműség kedveért folyós anionokkal képezett vegyületek közül fluoridet csak fluoriddel, chloridot chloriddal, oxyddal oxydot, nitriddel csak nitridet hasonlíthatunk össze s csakis a homologia eseteiben. Bromidot és higanyvegyületeket minden további megszorítás nélkül összehasonlíthatunk két szilárd componensből felépült vegyülettel. Az az individualitás, mely két elem egymáshoz való viszonyát meghatározza s minden mástól különbözik, nem enged arra következtetni, hogy ugyanegy fém összes binär vegyületei atomvolumenváltozásának nagyságrendjét az anion P értékének figyelembevételével összeállíthatnánk. Inkább kínálkozik egy és ugyanazon fém binär homolog vegyületeinek összehasonlítása az egy periodus-csoportba tartozó anionok P értéke figyelembevételével.[1] Ez energiahányadosra vonatkozólag tudjuk, hogy a Br é kisebb, mint a J-é; nincs okunk ugyanezt a F és Cl-ra fel nem tételezni. A VII. csoport halogénjeinek P értéke tehát az atomsúllyal nő és compressibilitásuk az atomsúllyal csökken. Ugyancsak ez áll az O, S, Se és Te-ra (VII. csoport, amphidok). Mindezek az elemek határozott anionok s még magasabb vegyértékű alakjaikban sem mutatnak kationszerű tulajdonságokat. Már az V. csoportban, a N-tól kezdve a P-on túl az As-ig nő, As, Sb és Bi sorrendben csökken P' érték nagysága, de a sorrend megfordulásával a chemiai tulajdonságok megváltozása is

[1] Feltételezve, hogy a kation kevésbbé összenyomható az anionnál. Ellenesetben a kationok szerint vizsgálhatók ugyanegy anion különböző fémvegyületei.

IV. TÁBLÁZAT.

Binär vegyületek[1] atomvolumenváltozása és $\frac{C}{H} \cdot 100$ értéke.

Képlet	Kation + anion atomvolumene ccm	Molekulasúly g	Sürűség $\frac{g}{ccm}$	Molekulavolumen ccm	Atomvolumenváltozás C = ccm	Képződéshő H = kj	Hányados $\frac{C}{H} \cdot 100$
Li F	12,57 + 17,15 = 29,72	26,03	2,60	10,01	19,71		
Li Cl	12,57 + 22,61 = 35,18	42,48	2,036	20,86	14,32	373	3,84
Li Br	12,57 + 25,45 = 38,02	86,86	3.466	25,06	12,96	319	4,07
Li J	12,57 + 25,73 = 38,30	133,86	4,063	32,95	5,35	239	2,24
Li_2 S	25,14 + 16,70 = 41,84	45,95	1,66	27,67	14,17		
Li_2 C_2	25,14 + 6,84 = 31,98	37,88	1,65	22,96	9,02	47	19,16
Li_6 Si_2	75,42 + 24,08 = 99,50	98,20	1,12	87,67	11,83		
Li_2 Si_2	25,14 + 24,08 = 49,22	70,48	1,12	62,92	−13,70		
Be F_2	4,72 + 34,30 = 39,02	47,1	2,1	22,38	16,64		
Be J_2	4,72 + 51,46 = 56,18	261,9	4,2	62,35	−6,17		
Be O	4,72 + 14,29 = 19,01	25,1	3,06	8,20	10,81		
Be_2 C	9,44 + 3,42 = 12,86	30,2	1,9	15,89	−3,03		
B Br_3	4,49 + 76,35 = 80,84	250,7	2,65	94,60	−13,76	−132	10,41
B_2 O_3	8,98 + 42,77 = 51,75	70	1,79	39,10	12,65	1310	0,97

[1] Folyósoké dőlten van nyomva.

$B_2 S_3$	8,98 + 50,10 = 59,08	118,2	1,55	76,25	−17,17	344	−4,97
$B_6 C$	26,94 + 3,42 = 30,46	78	2,51	31,07	−0.61		
$B_6 Si$	26,94 + 12,04 = 38,98	94,3	2,47	38,17	0,81		
$C Br_4$	3,42 + 101,80 = 105,22	331,68	3,42	93,98	8,24		
$C J_4$	3,42 + 102,92 = 106,34	519,68	4,32	120,29	− 13,95		
$C O_2$	3,42 + 28,58 = 32,00	44	1,2	36,66	− 4.66	383	−1.22
$C S_2$	*3,42 + 33,40 = 36,82*	*76,14*	*1.263*	*60,28*	*− 23.46*	*−120*	*19.35*
Na F	23,66 + 17,15 = 40,81	42,0	2,76	15,51	25,60	430	5,95
Na Cl	23,66 + 22,61 = 46,27	58,46	2,15	27,19	19,08	390	4,90
Na Br	23,66 + 25,45 = 49.11	102,92	3,01	34,19	14,92	343	4,35
Na J	23,66 + 25,73 = 49,39	149,92	3,55	42,23	7,16	289	2,48
$Na_2 O$	47,32 + 14.29 = 61,61	62,00	2,27	27,31	34,30	413	8,30
$Na_2 O_2$	47,32 + 28,58 = 75,90	78,00	2,31	33,77	42.13	500	8,42
$Na_2 S$	47,32 + 16,7[illegible] = 64,00	78,07	2,471	31,59	32,41	364	8.90
$Na_2 C_2$	47,32 + 6,84 = 54,16	70,00	1,575	44,44	9,72	− 37	26,26
$Mg F_2$	13,98 + 34,30 = 48,28	62,32	2.47	25,23	23,05	840	2,74
$Mg Cl_2$	13,98 + 45,22 = 59,20	95,24	2,177	43,74	15,46	595	2,60
Mg O	13,98 + 14,29 = 28,27	40,32	3,40	11,85	16,42	596	2,76
Mg S	13,98 + 16,70 = 30,68	56,39	2,82	19,99	10,69	324	3,30
$Al F_3$	10,49 + 51,45 = 61,94	84,1	3,10	27,13	34,81	1040	3.34
$Al Br_3$	10,49 + 76,35 = 86,84	261,4	2,54	105,04	−18,20	454	−4,01

Képlet	Kation + anion atomvolumene ccm	Molekula-súly g	Sürűség $\frac{g}{ccm}$	Molekula-volumen ccm	Atom-volumen-változás C = ccm	Kép-ződéshő H = kj	Hányados $\frac{C}{H} \cdot 100$
$Al J_3$	10,49 + 77,19 = 87,68	402,4	2,63	155,05	−67,37	295	− 22,82
$Al_2 O_3$	20,98 + 42,87 = 63,85	102,2	4,00	25,55	38,30	1577	2,42
$Al_2 S_3$	20,98 + 50,10 = 71,08	150,4	2,37	63,46	7,62	512	1,49
$Al_4 C_3$	41,96 + 10,26 = 52,22	144,4	2,36	61,19	−8,97		
$Si O_2$	12,04 + 28,58 = 40.62	60,4	2,65	22,75	17,18	799	3,50
Si S	12,04 + 16,70 = 28,74	60,4	1,853	32,54	− 3,80		
$Si_3 N_4$	36,12 + 62,96 = 99,08	140,9	3,44	40,96	58,12		
$Si_2 N_3$	24,08 + 57,22 = 81,30	98,6	3,64	27,09	54,21		
Si N	12,04 + 15,74 = 27,78	42,3	3,17	13,34	14,44		
$Si B_3$	12,04 + 13,47 = 25,51	61,3	2,52	24,21	1,30		
$Si B_6$	12,04 + 26,94 = 38,98	94,3	2,47	38,06	0,92		
$P Cl_3$	16,96 + 67,83 = 84,79	137,4	1,61	85,34	−0,55	260	−4,45
$P Br_3$	16,96 + 76,35 = 93,31	270,9	2,92	92,71	0,60	139	1,11
$P_2 O_3$	33,92 + 42,87 = 76,79	110,0	2,14	51,52	25,27		
$P_2 O_5$	33,92 + 71,45 = 105,37	142,0	2,38	59,66	45,71		
$P_2 S_3$	33,92 + 50,10 = 84,02	158,2	2,00	79,00	5,02		
$P_2 S_5$	33,92 + 83,50 = 117,42	222,3	3,7	60,08	57,34		
$P_4 S_3$	67,84 + 50,10 = 117,94	219,8	2,03	108,37	9,57		

$P_4 S_7$	67,84 + 116,90 = 184,74	348,4	2,19	158,90	25,84			
$P_4 S_{10}$	67,84 + 167,00 = 234,84	44,47	2,09	212,43	22,41			
$P_3 N_5$	50,88 + 78,70 = 129,58	163,0	2,51	64,94	64,64			
$S_2 Cl_2$	33,40 + 45,22 = 78,62	135,06	1,709	80,06	1,44	60	−2,45	
$S_2 Br_2$	33,40 + 50,90 = 84,30	223,98	2,63	85,16	− 0,86	4,4	−19,55	
$S O_2$	16,70 + 28,58 = 45,28	64,07	1,39	46,09	−0,81	286	− 0,28	
$S O_3$	16,70 + 42,87 = 59,57	80,07	1,94	41,27	18,30	417	4,39	
K F	44,94 + 17,15 = 62,09	58,1	2,48	23,39	38,70	463	8,35	
K Cl	44,94 + 22,61 = 67,55	74,56	1,977	37,71	29,84	415	7,19	
K Br	44,94 + 25,45 = 70,39	119,02	2,69	44,24	26,15	382	6,35	
K J	44,94 + 25,73 = 70,67	166,02	3,07	54,08	16,59	335	4,95	
$K_2 O$	89,88 + 14,29 = 104,17	94,20	2,65	35,55	68,62	358	19,17	
$K_2 S$	89,88 + 16,70 = 106,58	110,4	2,13	51,78	54,80	423	12,97	
$Ca F_2$	26,36 + 34,30 = 60,66	78,1	3,15	24,79	35,87	455	7,89	
$Ca Cl_2$	26,36 + 45,22 = 71,58	111,01	2,216	50,09	21,49	723	2,98	
$Ca Br_2$	26,36 + 50,90 = 77,26	199,93	3,32	60,21	17,05	616	2,77	
Ca O	26,36 + 28,58 = 54,94	56,09	3,15	17,81	37,13	606	6,15	
Ca S	26,36 + 33,40 = 59,72	72,16	2,8	25,77	33,99	435	7,82	
$Ca_3 N_2$	79,08 + 31,48 = 110,56	148,29	2,63	56,39	54,17	454	11,90	
$Ca_3 P_2$	79,08 + 33,92 = 113,00	182,2	2,51	72,51	40,49			
$Ca_3 As_2$	79,08 + 40,74 = 119,82	270,19	2,50	108,07	11,75			

Képlet	Kation + anion atomvolumene ccm			Molekulasúly g	Sürűség $\frac{g}{ccm}$	Molekulavolumen ccm	Atomvolumenváltozás C = ccm	Képződéshő H = kj	Hányados $\frac{C}{H} \cdot 100$
Ca C_2	26,36 +	6,84	= 33,20	64,09	2,22	28,87	4,33	—30	—14,44
Ca Si_2	26,36 +	24,08	= 50,44	96,6	2,5	38,64	11,80		
Ti F_4	10,69 +	68,60	= 79,29	124,1	2,833	43,80	35,49		
Ti Cl_4	10,69 +	90,44	= 101,13	189,9	1,76	107,84	− 6,71		
Ti J_2	10,69 +	51,46	= 62,15	301,9	4,3	70,20	− 8,65		
Ti O_2	10,69 +	28,58	= 39,27	80,1	4,12	19,44	19,83		
Ti_2 N_2	21,38 +	31,48	= 52,86	124,2	5,18	23,97	28,89		
Ti P	10,69 +	16,96	= 27,65	79,1	3,95	20,02	7,63		
Ti C	10,69 +	3,42	= 14,11	60,1	4,25	14,14	− 0,03		
Ti Si_2	10,69 +	24,08	= 34,77	104,7	4,02	26,04	8,73		
V F_3	9,27 +	51,45	= 60,72	108	3,363	32,11	28,61		
V F_4	9,27 +	68,60	= 77,87	127	2,975	42,68	35,19		
V F_5	9,27 +	85,75	= 95,02	146	2,177	67,06	27,96		
V Cl_2	9,27 +	45,22	= 54,49	121,9	3,28	37,16	17,33		
V Cl_3	9,27 +	67,83	= 77,10	157,3	3	52,43	24,67		
V Cl_4	*9,27 +*	*90,44*	*= 99,71*	*192,8*	*1,865*	*103,37*	*−3,66*		
V_2 O_2	18,54 +	28,58	= 47,12	134	3,64	36,81	10,31		
V_2 O_3	18,54 +	42,87	= 61,41	150	4,72	31,77	29,64		

$V_2 O_5$	18,54 + 71,45 =	89,99	182	3,49	52,14	37,85			
$V_2 S_2$	18,54 + 33,40 =	51,94	166,1	4,2	39,54	12.40			
$V_2 S_3$	18,54 + 50,10 =	68,64	198,2	3,7	53,61	15,03			
$V_2 S_5$	18,54 + 83,50 =	102,04	262,3	3,0	87,43	14,61			
V C	9,27 + 3,42 =	12,69	63	5,36	11,75	0,94			
V_2 Si	18,54 + 12,04 =	30,58	130,3	5,48	23,77	6,81			
V Si_2	9,27 + 24,08 =	33,35	107,6	4,42	24,34	9,01			
Cr F_2	7,51 + 34,30 =	41,81	90,	4,11	21,89	19,92			
Cr F_3	7,51 + 51,45 =	58.96	109	3,78	28,83	30,13			
Cr Cl_2	7,51 + 45,22 =	52,73	122,9	2,75	44,69	8,04			
$Cr_2 Cl_6$	15,02 + 135,66 =	150,68	316,7	2,757	114,87	35,81			
$Cr_2 O_3$	15,02 + 42,87 =	57,89	152,	5,04	30,15	27.74	1003	2,70	
Cr O_3	7,51 + 42,87 =	50,38	100	2,74	36,49	13,89	568	2,44	
Cr S	7,51 + 16,70 =	24,21	84	4,08	20,58	3,63			
Cr P	7,51 + 16,96 =	24,47	83	5,71	14,53	9,94			
Cr_3 Si	22,53 + 12,04 =	34.57	184.3	6,52	28,26	6,31			
Mn F_2	7.40 + 34,30 =	41,47	92,9	3,98	23,34	18,36			
Mn F_3	7,40 + 51,45 =	58,85	111,9	3.54	31,61	27,24			
Mn Cl_2	7,40 + 45,22 =	52,62	125,85	2,977	42,27	10,35	432	2,40	
Mn Br_2	7,40 + 50,90 =	58,30	214,97	4,385	49,02	9,28			
$Mn_3 O_4$	22,20 + 57,16 =	79,36	228,79	4,61	49,62	29,74			
$Mn_2 O_3$	14.80 + 42.87 =	57,67	157,86	4,5	35,08	22,59	1338	1,69	

Képlet	Kation + anion atomvolumene ccm	Molekulasúly g	Sürűség $\frac{g}{ccm}$	Molekulavolumen ccm	Atomvolumenváltozás C = ccm	Képződéshő H = kj	Hányados $\frac{C}{H} \cdot 100$
Mn O	7,40 + 14,29 = 21,69	70,93	5,09	13,93	-7,76	374	2,07
$Mn O_2$	7,40 + 28,58 = 35,98	86,93	5,02	17,31	18,67	515	3,63
Mn S	7,40 + 16,70 = 24,10	87	4	21,75	2,35		
Mn Se	7,40 + 18,59 = 25,99	134,1	5,59	23,98	2,01	91	2,21
Mn Sb	7,40 + 18,16 = 25,56	175,1	5,6	31,26	- 5,70		
$Mn_3 C$	22,20 + 3,42 = 25,62	176,79	6,888	25,66	−0,04		
$Mn_2 Si$	14,80 + 12,04 = 26,84	138,16	6,20	22,28	4,56		
Mn Si	7,40 + 12,04 = 19,44	83,2	5,90	14,10	5,34		
$Mn Si_2$	7,40 + 24,08 = 31,48	111,5	5,24	21,27	10,21		
Mn B	7,40 + 4,49 = 11,89	65,9	6,2	10,62	1,27		
$Fe F_2$	7,10 + 34,30 = 41,40	93,8	4,09	22,93	18,47		
$Fe F_3$	7,10 + 51,45 = 58,55	112,8	4,18	26,98	31,57		
$Fe Cl_2$	7,10 + 45,22 = 52,32	126,76	2,528	50,14	2,18	306	0,71
$Fe Cl_3$	7,10 + 67,83 = 74,93	162,22	2,80	57,94	16,99	346	4,91
$Fe Br_2$	7,10 + 50,90 = 58,00	215,68	4,636	46,52	11,48		
$Fe_3 O_4$	21,30 + 57,16 = 78,46	231,54	5,16	44,87	33,59	1085	3,09
$Fe_2 O_3$	14,20 + 42,87 = 57,07	159,69	5,24	30,47	26,60	801	3,32

$Fe_2 S_3$	14,20 +	50,10 =	64,30	207,89	4,33	48,01	16,29		
Fe S	7,10 +	16,70	23,80	87,91	4,84	18,16	5,64		
$Fe S_2$	7,10 +	33,40	40,50	119,98	4,86	24,68	15,82		
$Fe_2 N$	14,20 +	15,74	29,94	125,69	6,35	19,79	10,15		
$Fe_2 P$	14,20 +	16,96 =	31,16	142,6	6,56	21,79	9,37		
Fe P	7,10 +	16,96	24,06	86,8	5,76	15,06	9,00		
$Fe_2 P_3$	14,20 +	50,88 =	65,08	204,6	4,5	45,46	19,52		
$Fe_3 C$	21,30 +	3,42	24,72	179,52	7,07	25,39	0,67		
$Fe_3 Si_2$	21,30 +	24,08	45,38	224,1	6,36	35,23	10,15		
$Fe_2 Si$	14,20 +	12,04 =	26,24	139,9	7	19,98	6,26		
Fe Si	7,10 +	12,04	19,14	84,1	6,17	13,63	5,51		
$Fe Si_2$	7,10 +	24,08	31,18	112,4	5,4	20,81	10,37		
$Ni F_2$	6,67 +	34,30	40,97	96,6	4,63	20,86	20,11		
$Ni Cl_2$	6,67 +	45,22 =	51,89	129,6	2,56	50,62	1,27	275	0,26
$Ni Br_2$	6,67 +	50,90	57,57	218,52	4,64	47,09	10,48		
Ni O	6,67 +	14,29	20,96	74,68	6,7	11,14	9,82	244	4,02
$Ni_2 O_3$	13,34 +	42,87 =	56,21	165,36	4,83	34,23	21,98		
$Ni_3 O_4$	20,01 +	57,16 =	77,17	240,04	5,67	42,34	34,83		
Ni S	6,67 +	16,70	23,30	90,75	4,60	19,72	3,58		
$Ni_2 S$	13,34 +	16,70	30,04	149,43	5,52	27,07	2,97		
Ni Se	6,67 +	18,59 =	25,26	137,8	8,46	16,31	8,95	62	14,42

Képlet	Kation + anion atomvolumene ccm			Molekula-súly g	Sürűség $\frac{g}{ccm}$	Molekula-volumen ccm	Atom-volumen-változás C = ccm	Kép-ződéshő H = kj	Hányados $\frac{C}{H} \cdot 100$
$Ni_2 P$	13,34 +	16,96 =	30,30	148,3	6,3	23,53	6,77		
$Ni P_2$	6,67 +	33,92 =	40,59	120,6	4,62	26,10	14,49		
$Ni P_3$	6,67 +	50,88 =	57,55	151,6	4,19	36,18	21,37		
$Ni_3 As_2$	20,01 +	40,74 =	60,75	325,96	7,86	41,47	19,28		
Ni As	6,67 +	20,37 =	27,04	133,64	7,57	17,65	9,39		
Ni Sb	6,67 +	18,16 =	24,83	178,8	7,70	23,22	1,61		
$Ni_2 Si$	13,34 +	12,04 =	25,38	145,6	7,2	20,22	5,16		
Ni B	6,67 +	4,49 =	11,16	69,68	7,39	9,42	1,74		
$Co F_2$	6,70 +	34,30 =	41,00	96,97	4,43	21,88	19,12		
$Co Cl_2$	6,70 +	45,22 =	51,92	129,89	2,937	44,22	7,70	283	2,72
$Co Br_2$	6,70 +	50,90 =	57,60	218,81	4,909	44,57	13,03		
$Co_3 O_4$	19,10 +	57,16 =	76,26	240,91	6,07	39,68	36,58	788	4,65
$Co_2 O_3$	13,40 +	42,87 =	56,27	165,94	5,18	32,03	24,24		
Co O	6,70 +	14,29 =	20,99	74,97	5,68	13,19	7,80	247	3,26
Co S	6,70 +	16,70 =	23,40	91.04	5,45	16,70	6,70		
$Co_2 P$	13,40 +	16,96 =	30,36	148,9	6,4	23,26	7,14		
$Co_3 As_2$	19,10 +	40,74 =	59,84	326,83	7,82	41,79	18,05		
$Co_2 As_3$	13,40 +	61,11 =	74,51	342,82	7,35	46,64	27,87		
Co As	6,70 +	20,37 =	27,07	133,93	7,62	17,57	9,50		

$Co\ As_2$	6,70 +	40,74 =	47,44	208,89	6,97	29,96	17,48			
$Co\ Sb$	6,70 +	18,16 =	24,86	179,1	8,12	22,05	2,81			
$Co\ Sb_2$	6,70 +	36,32 =	43,02	299,3	7,76	38,56	4,46			
$Co_2\ Si$	13,40 +	12,04 =	25,44	146,2	7,1	20,59	4,85			
$Co\ Si$	6,70 +	12,04 =	18,74	87,2	6,30	13,84	4,90			
$Co\ Si_2$	6,70 +	24,08 =	30,78	115,5	5,3	21,79	8,99			
$Co_2\ B$	13,40 +	4,49 =	17,89	128,9	7,9	16,31	1,58			
$Cu\ Cl$	7,12 +	22,61 =	29,73	99,03	3,53	28,05	1,68	119	1,41	
$Cu\ Cl_2$	7,12 +	45,22 =	51,34	134,49	3,05	44,09	7,35	179	4,11	
$Cu\ Br$	7,12	25,45 =	32,57	143,49	4,72	30,40	2,17	89	2,44	
$Cu\ J$	7,12 +	25,73	32,85	190,49	4,41	43,20	−10,35	68	−15,23	
$Cu_2\ O$	14,24 +	14,29	28,58	143,14	5,88	24,36	4,22	165	2,56	
$Cu\ O$	7,12 +	14,29	21,41	79,57	6,4	12,43	8,98	150	5,98	
$Cu_2\ S$	14,24 +	16,70 =	30,94	159,21	5,746	27,72	3,22	76	4,25	
$Cu\ S$	7,12 +	16,70	23,82	95,64	3,98	24,03	−0,21	42	−0,50	
$Cu_2\ P$	14,24 +	16,96	31,20	158,1	6,4	24,70	6,50			
$Cu_3\ P_2$	21,36 +	33,92	55,28	252,7	6,67	37,88	17,40			
$Cu_3\ As_2$	21,36 +	40,74	62,10	340,63	6,94	49,08	13,02			
$Cu_3\ Sb_2$	21,36 +	36,32 =	57,68	431,1	7,4	58,25	−0,57			
$Cu_2\ Si$	14,24 +	12,04 =	26,28	155,4	6,9	22,52	3,76			
$Cu_4\ Si$	28,48 +	12,04	40,52	282,5	7,53	37,51	3,01			
$Zn\ F_2$	9,21 +	34,30 =	43,51	103,31	4,84	21,37	22,14			

Képlet	Kation + anion atomvolumene ccm	Molekulasúly g	Sürűség $\frac{g}{ccm}$	Molekulavolumen ccm	Atomvolumenváltozás C = ccm	Képződéshő H = kj	Hányados $\frac{C}{H} \cdot 100$
$ZnCl_2$	9,21 + 45,22 = 54,43	136,29	2,907	46,85	7,58	370	2,05
$ZnBr_2$	9,21 + 50,90 = 60,11	225,21	4,219	53,37	6,74	286	2,36
ZnJ_2	9,21 + 51,46 = 60,67	319,21	4,696	67,97	—7,30	206	—3,54
ZnO	9,21 + 14,29 = 23,50	81,37	5,65	14,40	9,10	353	2,58
ZnS	9,21 + 16,70 = 25,91	97,44	4,06	24,00	1,91		
ZnSe	9,21 + 18,59 = 27,80	144,5	5,4	26,76	1,04	126	0,83
ZnTe	9,21 + 21,20 = 30,41	192,8	6,34	30,45	- 0,04	130	- 0,03
Zn_3P_2	27,63 + 33,92 = 61,55	258,1	4,55	56,75	4,80		
ZnP_2	9,21 + 33,92 = 43,13	127,3	2,97	42,85	0,28		
Zn_3Sb_2	27,63 + 36,32 = 63,95	436,5	6,48	67,34	- 3,39		
$GaCl_3$	11,81 + 67,83 = 79,64	176,2	2,36	74,65	4,99		
$GeCl_4$	13,28 + 90,44 = 103,72	214,3	1,887	113,60	—9,88		
GeO_2	13,28 + 28,58 = 41,86	104,5	4,703	22,45	19,41		
$AsBr_3$	20,37 + 76,35 = 96,72	314,72	3,66	86,00	10,72	140	7,66
AsJ_3	20,37 + 77,19 = 97,56	455,72	4,374	104,15	—6,59	53	—12,43
As_2O_3	40,74 + 42,87 = 83,61	197,92	4	49,48	34,13	630	5,42
As_2O_5	40,74 + 71,45 = 112,19	229,92	4,08	56,32	55,87	890	6,28
As_4S_3	81,48 + 50,10 = 131,58	396,05	3,6	109,90	21,68		

$As_2 S_2$	40,74 +	33 40	74,14	214,06	3,55	60,30	13.84		
$As_2 S_3$	40.74 +	50,10	90,84	246,13	3,46	71,22	19,62		
$Se Cl_2$	18,59 +	45,22	63,81	150,1	2,91	51,57	12.24	56	21,88
$Se Br_2$	18.59 +	50,90 =	69,49	239	3,60	66.35	3,14		
$Se O_2$	18,59 +	28,58	47.17	111.2	3,958	28,09	19,08	228	8,38
Se S	18,59 +	16,70	35.29	111.2	3,056	36,42	—1.13		
Rb Cl	55,78 +	22,61 =	78,39	120,91	2,209	54,77	23,62	421	5,62
Rb Br	55,78 +	25.45	81,23	165,37	2,78	59,55	21,68		
Rb J	55,78 +	25,73	81.51	212.37	3,023	70,35	11,16		
$Rb_2 O$	111,56 +	14,29	125.85	186.9	3,72	50,25	75,60	341	22,75
$Rb_2 O_2$	111,56 +	28,58	140,14	202.9	3,65	55.65	84,49		
$Rb_2 O_3$	111.56 +	42,87	154,43	218,9	3,53	60.30	94,13		
$Rb_2 S_3$	111,56 +	83,50 =	195,06	331,25	2 618	126,35	68,71		
$Sr Cl_2$	34,50 +	45,22	79,72	158.54	3.05	52.00	27,72	735	3,77
$Sr Br_2$	34.50 +	50,90	85,40	247,46	4,216	58,75	26,65	627	4,26
$Sr J_2$	34,50 +	51,46	85,96	341,46	4,415	77,45	8,51	470	1,81
Sr O	34.50 +	14,29	48,79	103.62	4,34	23,85	24,94	531	4,70
Sr S	34,50 +	16,70	51,20	119,69	3,7	32,18	19,02	408	4,65
$Sr_3 P_2$	103,50 +	33.92	137,42	324 8	2,68	121,15	16.27		
$Sr_3 As_2$	103,50 +	40,74 =	144,24	412,78	3,6	114,70	29,54		
$Sr C_2$	34,50 +	6,84 =	41,34	111,62	3,19	35,00	6,34		

Képlet	Kation + anion atomvolumene ccm	Molekulasúly g	Sürűség $\frac{g}{ccm}$	Molekulavolumen ccm	Atomvolumenváltozás C = ccm	Képződéshő H = kj	Hányados $\frac{C}{H} \cdot 100$
$Y_2 O_3$	23,42 + 42,87 = 66,29	226	5,04	44,78	21,51		
$Y C_2$	23,42 + 6,84 = 30,26	1.3	4,13	27,35	2,91		
$Zr F_4$	14,16 + 68,60 = 82,76	166,6	4,433	37,58	45,18		
$Zr O_2$	14.16 + 28,58 = 42,74	122,6	5,726	21,40	21,34	734	2,91
$Zr P_2$	14,16 + 33,92 = 48,08	152,6	4,77	32,05	16,03		
$Zr Si_2$	14,16 + 24,08 = 38,24	147,2	4,88	30,15	8,09		
$Nb F_5$	13,43 + 85,75 = 99,18	188,5	3,293	57,35	41,83		
$Nb_2 O_5$	26,86 + 71,45 = 98,31	267	4,47	59,80	38,51		
$Mo J_2$	10,65 + 51,46 = 62,11	349,8	4,3	81,45	−19,44		
$Mo O_3$	10,65 + 42,87 = 53,52	144	4,39	32,37	21,15		
$Mo_2 S_3$	21,30 + 50,10 = 71,40	288	5,9	48,80	22,60		
$Mo S_2$	10,65 + 33,40 = 44,05	160,1	4,8	33,38	10,67		
$Mo_2 C$	21,30 + 53,42 = 24,70	204	8,9	22,92	1,20		
$Mo C$	10,65 + 3,42 = 14,07	108	8,4	10,29	3,78		
$Mo Si_2$	10,65 + 24,08 = 34,73	152,6	6,2	24,62	10,11		
$Mo_3 B_4$	31,95 + 17,96 = 49,91	332	7,11	45,29	4,62		

RuO_2	8,44 +	28,58	37,02	133,7	7,2	18,57	18,45		
Pd Si	8,97 +	12,04	21,01	135	7,31	18,49	2,52		
Ag F	10,28 +	17,15 =	27,43	126,88	5,852	21,72	5,71	97	5,88
Ag Cl	10,28 +	22,61 —	32,89	143,34	5,570	25,78	7,11	104	6,83
Ag Br	10,28 +	25,45	35,73	187,8	6,473	29,03	6,70	79	8,49
Ag J	10,28 +	25,73	36,01	234,8	5,674	41,49	—5,48	58	- 9,47
Ag_2O	20,56 +	14,29 =	34,85	231,76	7,52	3 1,63	4,22	19	22,12
Ag_2S	20,56 +	16,70	37,26	247,83	7,28	34,00	3,26	14	23,26
Ag_3As	30,84 +	20,37	51,22	398,6	9,01	44,25	6,96		
Ag_3Sb	30,84 +	18,16	49,00	443,8	8,34	53,27	- 4,27		
CdF_2	13,00 +	34,30	47,30	150,4	6,64	22,64	14,66		
$CdCl_2$	13,00 +	45,22	58,22	183,32	3,65	50,25	7,97	353	2,26
$CdBr_2$	13,00 +	50,90	63,90	272,24	4,79	56,78	7,12	283	2,51
CdJ_2	13,00 +	51,46	64,46	366,1	5,98	61,13	3,33	204	1,63
Cd_2O	26,00 +	14,29	40,29	240,8	8,192	29,41	10,88		
Cd O	13,00 +	14,29	27,29	128,4	8,15	15,76	11,53		
Cd S	13,00 +	16,70	29,70	144,47	4,85	29,81	—0,11		
Cd Se	13,00 +	18,59 —	31,59	191,6	5,80	33,04	—1,45	60	—2,42
Cd Te	13,00 +	21,20 —	34,20	239,9	6,2	38,72	—4,52	70	—6,45
In_2O_3	16,12 +	42,87	58,99	277,6	7,179	38,62	20,37		

Képlet	Kation + anion atomvolumene ccm	Molekulasúly g	Sűrűség g/ccm	Molekulavolumen ccm	Atomvolumenváltozás C = ccm	Képződéshő H = kj	Hányados $\frac{C}{H} \cdot 100$
$Sn F_4$	16,35 + 68,60 — 84,95	195	4,78	40,75	44,20		
$Sn Cl_4$	16,35 + 90,44 = 106,79	260,8	2,278	114,40	—7,61	458	—1,66
$Sn Br_2$	16,35 + 50,90 = 67,25	278,8	5,117	54,72	12,53	225	5,55
$Sn Br_4$	16,35 + 101,80 = 118,15	438,6	3,349	131,10	—12,95		
$Sn J_4$	16,35 + 102,92 = 119,27	626,6	4,695	133,30	—14,03		
Sn O	16,35 + 14,29 = 30,64	135,0	6,30	21,43	9,21	277	3,32
$Sn O_2$	16,35 + 28,58 = 44,93	151,0	6,95	21,72	23,21	569	4,08
Sn S	16,35 + 16,70 = 33,05	151	5,05	29,91	4,14		
$Sn S_2$	16,35 + 33,40 = 49,75	183,1	4,51	40,63	9,12		
$Sn_4 P_3$	65,40 + 50,88 = 116,28	569,	5,18	109,70	6,58		
$Sn P_3$	16,35 + 50,88 = 67,23	212,	4,1	51,75	15,48		
$Sb F_5$	18,16 + 85,75 — 103,91	215,2	2,99	71,98	31,95		
$Sb Cl_3$	18,16 + 67,83 = 85,99	226,5	3,06	74,15	11,84	326	3,64
$Sb Cl_5$	*18,16 + 113,05 = 131,21*	*297,5*	*2,346*	*126,70*	*4,51*	*346*	*1,32*
$Sb Br_3$	18,16 + 76,35 — 94,51	359,9	4,148	86,80	7,71	228	3,38
$Sb J_3$	18,16 + 77,19 = 95,35	500,9	4,676	106,90	—11,55	104	—11,10
$Sb_2 O_3$	36,32 + 42,87 = 79,19	288,4	5,20	55,37	23,82	680	3,50
$Sb_2 O_4$	36,32 + 57,16 = 93,48	304,4	4,07	74,90	18,58	853	2,18
$Sb_2 O_5$	36,32 + 71,45 = 107,77	320,4	5,6	84,78	22,99	929	2,47

$Sb_2 S_3$	36,32 + 50,10	86,42	336,6	4,63	72,64	13,78	145	9,50
$Te O_2$	21,20 + 28,58	49,78	159,5	5,85	27,27	22,51		
$Te O_3$	21,20 + 42,87	64,07	175,5	5,087	34,50	29,57		
$J O_2$	25,73 + 28,58	54,31	158,92	4,2	37,86	16,45		
$J_2 O_5$	51,46 + 71,45	122,91	333,84	4,799	69,64	53,27	160	33,30
Cs Cl	71,02 + 22,61	93,63	168,27	3,977	42,35	51,28	441	11,63
Cs Br	71,02 + 25,45	94,47	212,73	4,42	48,22	48,25		
Cs J	71,02 + 25,73	96,75	259,73	4,523	57,48	39,27		
$Cs_2 O$	142,04 + 14,29	156,33	281,62	4,36	64,70	91,63	340	26,95
$Cs_2 O_2$	142,04 + 28,58	170,62	297,62	4,47	66,64	103,98	459	22,63
$Cs_2 O_3$	142,04 + 42,87	184,91	313,62	4,25	73,80	111,11	529	20,97
$Cs_2 O_4$	142,04 + 57,16	199,20	329,62	3,68	89,60	109,60	568	19,27
$Cs_2 S_5$	142,04 + 83,50	225,54	425,97	2,806	151,70	73,84		
$Ba F_2$	36,34 + 34,30	70,64	175,37	4,828	36,31	34,33	935	3,67
$Ba Cl_2$	36,34 + 45,22	81,56	208,29	3,85	54,12	27,44	792	3,46
$Ba Br_2$	36,34 + 50,90	87,24	297,21	4,23	70,20	17,04	693	2,46
$Ba J_2$	36,34 + 51,46	87,80	391,21	4,917	79,55	8,25	570	1,45
Ba O	36,34 + 14,29	50,63	153,37	5	30,68	19,95	527	3,79
$Ba O_2$	36,34 + 28,58	64,92	169,37	4,958	34,16	30,76	620	4,97
Ba S	36,34 + 16,70	53,04	169,44	4,3	39,42	13,62	430	3,16

Képlet	Kation + anion atomvolumene ccm			Molekulasúly g	Sürűség $\frac{g}{ccm}$	Molekulavolumen ccm	Atomvolumenváltozás C = ccm	Képződéshő H = kj	Hányados $\frac{C}{H} \cdot 100$
$Ba_3 P_2$	109,02 +	33,92 =	142,94	474,11	3,18	149,10	−6,16		
$Ba_3 As_2$	109,02 +	40,74 =	149,76	562,03	4,1	136,80	12,96		
$Ba C_2$	36,34 +	6,84 =	43,18	161,37	3,75	43,11	0,07		
$La Cl_3$	22,60 +	67,83	90,43	245,3	3,947	62,12	28,31		
$La_2 O_3$	45,20 +	42,87 =	88,07	326	6 48	50,30	37,77	1903	1,98
$La_2 S_3$	45,20 +	50,10	95,30	374,2	4,911	76,33	18,97		
$La C_2$	22,60 +	6,84 =	29,44	163	5,02	32,52	−3,08		
$Ce Cl_3$	19,92 +	67,83	87,75	246,63	3,92	62,95	24,80		
$Ce O_2$	19,92 +	28,58	48,50	172,25	6,739	25,57	12,93	964	1,34
$Ce_2 S_3$	39,84 +	50,10 =	89,94	376,71	5,02	75,17	14,77		
$Ce C_2$	19,92 +	6,84	26,76	164,25	5,23	31,41	−4,65		
$Ce Si_2$	19,92 +	24,08	44,00	196,8	5,67	34,73	9,27		
$Pr Cl_3$	21,73 +	67,83 =	89,56	246,9	4,017	61,55	28,01		
$Pr_2 O_3$	43,46 +	42,87	86,33	329,2	6,88	47,78	38,55	1793	2,15
$Pr O_2$	21,73 +	28,58	50,31	172,6	5,978	28,85	21,46		
$Pr_2 S_3$	43,46 +	50,10 =	93,56	377,4	5,042	74,90	18,66		
$Pr C_2$	21,73 +	6,84	28,57	164 6	5,10	32,28	− 3,71		

$Nd Cl_3$	11,37 +	67,83 =	79,20	250,6	4,134	60,60	18,60	1014	1,84
$Nd_2 S_3$	22,74 +	50,10 =	72,84	384,8	5,179	74,30	−1,46	1240	−0,12
$Nd C_2$	11,37 +	6,84 =	18,21	168,3	5,15	32,67	−14,46		
$Sm Cl_3$	19,41 +	67,83 =	87,24	256,7	4,27	60,20	27,04		
$Sm_2 O_3$	38,82 +	42,87 =	81,69	348,8	8,347	41,80	39,89		
$Sm C_2$	19,41 +	6,84 =	26,25	174,4	5,86	29,80	− 3,55		
$Er_2 O_3$	72,32 +	42,87 =	115,19	383,4	8,64	44,35	70,84		
$Ta F_5$	10,88 +	85,75 =	96,63	276	4,744	58,20	38,43		
$Ta Cl_5$	10,88 +	113,05 =	123,93	358,3	3,68	97,40	26,53		
$Ta_2 O_5$	21,76 +	71,45 =	93,21	442	7,53	58,62	34,59		
$Ta Si_2$	10,88 +	24,08 =	34,96	237,6	8,83	26,86	8,10		
$W J_2$	9,63 +	51,46 =	61,09	437,8	6,9	63,55	−2,46		
$W J_4$	9,63 +	102,92 =	112,55	691,6	5,2	133,00	−20.45		
$W O_3$	9,63 +	42,87 =	52,50	232	6,84	33,92	18,58	803	2,31
$W S_2$	9,63 +	33,40	43,03	248,1	7,5	33,07	9,96		
W P	9,63 +	16,96 =	26,59	215	8,5	25,29	1,30		
$W P_2$	9,73 +	33,92 =	43,55	246	5,8	42,41	1,14		
$W_2 C$	19.26 +	3,42	22,68	380	16,06	23,66	−0,98		
W C	9,63 +	3,42	13,05	196	15,7	12,48	0,57		
$W Si_2$	9,63 +	24,08	33,71	240,6	9,4	25,59	8,12		

Képlet	Kation + anion atomvolumene ccm			Molekula-súly g	Sürűség $\frac{g}{ccm}$	Molekula-volumen ccm	Atom-volumen-változás C = ccm	Képződéshő H = kj	Hányados $\frac{C}{H} \cdot 100$
$PtCl_2$	9,12 +	45,22 =	54,34	266,1	5,87	45,33	9,01		
PtS	9,12 +	16,70 =	25,82	227,2	8,897	25,53	0,29		
$PtSe_2$	9,12 +	37,18 =	46,30	353,6	7,65	46,22	0,08		
$PtSe_3$	9,12 +	55,77 =	64,89	432,8	7,15	60,53	4,36		
Pt_2Si	18,24 +	12,04 =	30,28	418,7	13,8	30,34	−0,06		
PtSi	9,12 +	12,04 =	21,16	223,5	11,63	19,22	1,94		
Au_2Se_3	20,88 +	55,77	76,65	632	4,65	135,91	−59,26		
Au_2P_3	20,88 +	50,88 =	71,76	487,4	6,67	73,07	−1,31		
Hg_2Cl_2	29,60 +	45,22 =	74,82	472,1	7,103	66,49	8,33	225	3,70
$HgCl_2$	14,80 +	45,22	60,82	271,5	5,424	50,15	9,87	186	5,30
Hg_2Br_2	29,60 +	50,90 =	80,50	561	7,307	76,80	3,70	173	2,14
$HgBr_2$	14,80 +	50,90 =	65,70	360,4	5,738	62,80	2,90	137	2,12
Hg_2J_2	29,60 +	51,46	81,06	655	7,7	85,10	−4,04	119	−3,40
HgJ_2	14,80 +	51,46 =	66,26	454,4	6,257	72,62	−6,36	102	−6,23
HgO	14,80 +	14,29	29,09	216,6	11,14	18,32	10,77	87	12,37
HgS	14,80 +	16,70	31,50	232,7	8,09	28,76	2,74	44	6,23
TlCl	17,22 +	22,61	39,83	239,4	7,02	34,12	5,71	184	3,10

Tl Br	17,22 +	25,45	42,67	283,9	7,54	37,62	5,05	157	3,22
Tl J	17,22 +	25,73	42,95	330,9	7,06	46,85	−3,90	126	−3,09
Tl_2O_3	34,44 +	42,87	77,31	456	5,57	82,10	−4,79		
Tl_2S	34,44 +	16,70	51,14	440	8	55,00	−3,86	82	−4,71
PbF_2	18,26 +	34,30	52,56	245,1	8,241	29,74	22,82	204	11,18
$PbCl_2$	18,26 +	45,22	63,48	278,02	5,8	47,93	15,55	309	5,03
$PbBr_2$	18,26 +	50,90 =	69,16	366,94	6,61	55,51	13,65	238	5,74
PbJ_2	18,26 +	51,46	69,72	460,94	6,16	74,82	−5,10	167	−3,05
Pb_2O	36,52 +	14,29	50,81	430,2	5,77	44,13	6,68		
PbO	18,26 +	14,29	32,55	223,1	9,3	23,98	8,57	216	3,96
Pb_3O_4	54,78 +	57,16 =	111,94	685,3	8,91	76,91	35,03		
PbO_2	18,26 +	28,58 =	46,84	239,1	8,91	26,83	20,01	349	5,73
PbS	18,26 +	16,70	34,96	239,17	7,65	31,26	3 70	85	4,36
PbSe	18,26 +	18,59	36,85	286,3	8,1	35,34	1,51	60	2,52
PbTe	18,26 +	21,20 =	39,46	334,6	8,2	40,81	−1,35		
BiF_3	21,57 +	51,45	73,02	265	5,32	49,83	23,19		
$BiCl_3$	21,57 +	67,83 =	89,40	314,3	4,56	69,00	20,40	324	6,30
$BiBr_3$	21,57 +	76,35 =	97,92	447,7	5,60	79,77	18,15		
BiJ_3	21,57 +	77,19	98,76	588,7	5,82	101,15	−2,39		
Bi_2O_3	43,14 +	42,87	86,01	464	8,15	56,98	29,03	572	5,07
Bi_2S_3	43,14 +	50,10 =	93,24	512,2	7,39	69,25	23,99		
Bi_2Se_3	43,14 +	55,77 =	98,91	653,6	6,82	96,10	2,81		

Képlet	Kation + anion atomvolumene ccm			Molekulasúly g	Sűrűség $\frac{g}{ccm}$	Molekulavolumen ccm	Atomvolumenváltozás C = ccm	Képződéshő H = kj	Hányados $\frac{C}{H} \cdot 100$
$Th Cl_4$	21,13 +	90,44	111,57	374,24	4,59	81,45	30,12		
$Th Br_4$	21,13 +	101,80	— 122,93	552,08	5,67	97,27	25,66		
$Th O_2$	21,13 +	28,58	49,71	264,40	10,12	26,13	23,58	1350	1,75
$Th S_2$	21,13 +	33,40	54,53	296,54	6,8	43,65	10,88		
$Th C_2$	21,13 +	6,84	27,97	256,4	10,15 és 8,96	25,27 28,66	2,70 0,69		
$Th Si_2$	21,13 +	24,08	45,21	289	7,96	36,32	8,89		
$Th B_4$	21,13 +	17,96	39,09	276,4	7,5	36,85	2,24		
$Th B_6$	21,13 +	26,94	48,07	298,4	6,4	46,56	1,51		
$U F_6$	12,75 +	102,90	115,65	352,5	4,68	75,25	40,40		
$U Br_4$	12,75 +	101,80	114,55	558,1	4,838	115,30	— 0,75		
$U J_4$	12,75 +	102,92	— 115,67	746,1	5,6	133,20	— 17,53		
$U O_2$	12,75 +	28,58	41,33	270,5	10,15	26,63	14,70		
$U_3 O_8$	38,25 +	114,32	152,57	843,5	7,31	115,30	37,27		
$U Si_2$	12,75 +	24,08	36,83	295,1	8,0	36,86	— 0,03		

együtt jár, amennyiben As, Sb és Bi magasabb vegyértékeikben kationként viselkedhetnek. C és Si közül a C P értéke a nagyobb s a kiszámított 35 érték közül pedig a legmagasabb (IV. csoport). A B a III. csoport egyetlen anionja s számbeli adat rendelkezésre nem állván, összenyomhatóságára a IV. táblázatban felsorolt boridok atomvolumenváltozásából következtetve, valószínűnek látszik, hogy compressibilitása a C-évei egyező nagyságrendű, szóval rendkívül kicsiny.

Jelentsen a zárójelbe foglalt symbolum atomvolumenváltozást. Pl. $[Li_6Si_2] =$ a Li_6Si_2 atomvolumenváltozása. Ezzel az írásmóddal a továbbiakban összefoglalom az analog binär vegyületek atomvolumenváltozásának mérlegét.

Li. 1. $[LiBr] > [LiJ]$; 2. $[Li_2Si_2] < [Li_2C_2]$; 3. $^1/_3[Li_6Si_2] > > Li_2Si_2]$. Az utóbbi egyenlőtlenségben kifejeződik, hogy ha a (lithium : silicium) viszony növekszik, nő az atomvolumenváltozás is, minthogy a lithium az inkább compressibilis.

B. 1. $[B_6Si] > [B_6C]$.

C. 1. $[CBr_4] > [CJ_4]$.

Na. 1. $[NaBr] > [NaJ]$; 2. $[Na_2O_2] > [Na_2O]$. 2-ben a Na_2O_2, mely az inkább összenyomható componensből többet tartalmaz, keletkezik nagyobb atomvolumenváltozással.

Al. 1. $[AlBr_3] > [AlJ_3]$.

Si. 1. $^1/_2[Si_2N_3] > ^1/_3[Si_3N_4] > [SiN]$; viszonylag több N esetén nagyobb az atomvolumenváltozás. 2. $[SiB_3] > [SiB_6]$, a B-nak a Si-nál eszerint kevésbbé összenyomhatónak kell lennie.

P. 1. $[P_2O_5] > [P_2O_3]$; 2. $[P_2S_5] > [P_2S_3]$, $[P_4S_7] > > [P_4S_{10}] > [P_4S_3]$. $P_P = 74960$ és $P_S = 72824$ olyannyira közelállók, hogy a Na 2-ben constatált tény itt nem forog fenn, mert a sorrend megfordul. A továbbiakban tehát ott várhatunk szabályosságot, hol a két componens energiahányadosa nagyon különböző.

S. 1. $[SO_3] > [SO_2]$.

K. 1. $[KBr] > [KJ]$.

Ca 1. $[Ca_3N_2] > [Ca_3P_2] > [Ca_3As_2]$; 2. $[CaSi_2] > > [CaC_2]$.

Ti. 1. $^1/_2[Ti_2N_2] > [TiP]$ (2. $[TiSi_2] > [TiC]$).

V. 1. $[VF_4] > [VF_3] > [VF_5]$; 2. $[VCl_3] > [VCl_2]$;

3. $[V_2O_5] > [V_2O_3] > [V_2O_2]$; 4. $[V_2S_3] \gtrless [V_2S_5] > [V_2S_2]$; 5. $[V_2Si]$ és $[VSi_2] > [VC]$; 6. $[VSi_2] > \frac{1}{2}[V_2Si]$.

Cr. 1. $[CrF_3] > [CrF_2]$; 2. $\frac{1}{2}[Cr_2Cl_6] > [CrCl_2]$; 3. $[CrO_3] > \frac{1}{2}[Cr_2O_3]$.

Mn. 1. $[MnF_3] > [MnF_2]$; 2. $[MnO_2] > \frac{1}{2}[Mn_2O_3] > \frac{1}{3}[Mn_3O_4] > [MnO]$; 3. $[MnS] > [MnSe]$; 4. $[Mn_2Si]$, $[MnSi]$ és $[MnSi_2] > [Mn_3C]$; 5. $[MnSi_2] > [MnSi] > \frac{1}{2}[Mn_2Si]$. P_{Mn}-nak nagyobbnak kell lennie 5. értelmében P_{Si}-nál. Az „Alkalmazásban" P_{Mn}-t magasabbra becsültem P_{Fe} nál, már pedig $P_{Fe} = 1147000 > P_{Si} = 787100$.

Fe. 1. $[FeF_3] > [FeF_2]$; 2. $[FeCl_3] > [FeCl_2]$; 3. $\frac{1}{2}[Fe_2O_3] > \frac{1}{3}[Fe_3O_4]$; 4. $[FeS_2] > \frac{1}{2}[Fe_2S_3] > [FeS]$; 5. $[Fe_2N] > [Fe_2P]$; 6. $\frac{1}{2}[Fe_2P_3] > [FeP] > \frac{1}{2}[Fe_2P]$; 7. $[Fe_3Si_2]$, $[Fe_2Si]$, $[FeSi]$ és $[FeSi_2] > [Fe_3C]$; 8. $[FeSi_2] > [FeSi] > \frac{1}{2}[Fe_2Si] > \frac{1}{3}[Fe_3Si_2]$. 8-ra vonatkozólag lásd Mn 5.-t.

Ni. 1. $\frac{1}{3}[Ni_3O_4] \gtrless \frac{1}{2}[Ni_2O_3] > [NiO]$; 2. $[NiS] > \frac{1}{2}[Ni_2S]$; $[NiS] < [NiSe]$; 3 $[NiP_3] > [NiP_2] > \frac{1}{2}[NiP]$; 4. $[NiAs] > \frac{1}{3}[Ni_3As_2]$; 5. $[NiSb] < [NiAs]$.

Co. 1. $\frac{1}{3}[Co_3O_4] \gtrless \frac{1}{2}[Co_2O_3] > [CoO]$; 2. $[CoAs_2] > \frac{1}{2}[Co_2As_3] > [CoAs] > \frac{1}{3}[Co_3As_2]$; 3. $[CoSb] < [CoAs]$; 4. $[CoSb_2] > [CoSb]$; 5. $[CoSi_2] > [CoSi] > [Co_2Si]$. Co 5. ópen min Mn 5. és Fe 8.

Cu. 1. $[CuCl_2] > [CuCl]$; 2 $[CuBr] > [CuJ]$; 3. $[CuO] > \frac{1}{2}[Cu_2O]$; 4. $[CuS] < [Cu_2S]$; 5. $\frac{1}{3}[Cu_3P_2] > \frac{1}{2}[Cu_2P]$; 6. $[Cu_3P_2] > [Cu_3As_2]$; 7. $[Cu_3Sb_2] < [Cu_3As_2]$; 8. $\frac{1}{2}[Cu_2Si] > \frac{1}{4}[Cu_4Si]$

Zn. 1. $[ZnBr_2] > [ZnJ_2]$; 2. $[ZnS] > [ZnSe] > [ZnTe]$; 3. $[ZnP_2] < \frac{1}{3}[Zn_3P_2]$; 4. $[Zn_3Sb_2] < [Zn_3P_2]$.

As. 1. $[AsBr_3] > [AsJ_3]$; 2. $[As_2O_5] > [As_2O_3]$; 3. $\frac{1}{2}[As_2S_3] > \frac{1}{2}[As_2S_2] > \frac{1}{4}[As_4S_3]$

Rb. 1. $[RbBr] > [RbJ]$; 2. $[Rb_2O_3] > [Rb_2O_2] > [Rb_2O]$.

Sr. 1. $[SrBr_2] > [SrJ_2]$; 2. $[Sr_3P_2] > [Sr_3As_2]$.

Mo. 1. $[MoS_2] < \frac{1}{2}[Mo_2S_3]$; 2. $[MoC] > \frac{1}{2}[Mo_2C]$; 3. $[MoSi_2] > [Mo_2C]$ és $[MoC]$.

Ag. 1. $[AgBr] > [AgJ]$; 2. $[Ag_3Sb] < [Ag_3As]$.

Cd 1. $[CdBr_2] > [CdJ]$; 2. $[CdO] > \frac{1}{2}[Cd_2O]$; 3. $[CdS] > [CdSe] > [CdTe]$.

Sn. 1. $[Sn Br_4] < [Sn Br_2]$; 2. $[Sn Br_4] > [Sn J_4]$; 3. $[Sn O_2] > [Sn O]$; 4. $[Sn S_2] > [Sn S]$; 5. $[Sn P_3] > 1/4[Sn_4 P_3]$.

Sb. 1. $[Sb Br_3] > [Sb J_3]$; 2. $[Sb_2 O_3] > [Sb_2 O_5] > [Sb_2 O_4]$.

Te 1. $[Te O_3] > [Te O_2]$.

J. 1. $1/2[J_2 O_5] > [J O_2]$. A J kevésbbé nyomható össze, mint a folyós O.

Cs. 1. $[Cs Br] > [Cs J]$; 2. $[Cs_2 O_3] > [Cs_2 O_4] > [Cs_2 O_2] > [Cs_2 O]$. A leginkább compressibilis alkáli fém, a Cs, oxydjaiban ugyanazt az esetet adja, mint a P és S componensek binär vegyületei. A sorrend azért fordúlhat meg ($[Cs_2 O_3] > Cs_2 O_4]$), mert Po-nak (folyós!) $P_{Cs} = 9567$-hez közel kell állania.

Ba. 1. $[Ba Br_2] > [Ba J_2]$; 2. $[Ba O_2] > [Ba O]$; 3. $[Ba_3 P_2] < [Ba_3 As_2]$.

Ce 1. $[Ce Si_2] > [Ce C_2]$.

Pr. 1. $[Pr O_2] > 1/2[Pr_2 O_3]$.

W. 1. $[W J_4] < [W J_2]$; 2. $[W P_2] \leqq [W P]$; 3. $[W C] > 1/2[W_2 C]$; 4. $[W Si_2] > [W_2 C]$ és $[W C]$.

Pt 1. $[Pt Se_3] > [Pt Se_2]$; 2. $[Pt Si] > 1/2[Pt_2 Si]$. Lásd Mn 5 t, $P_{Pt} = 1050000$ és $P_{Si} = 787100$.

Hg. 1. $[Hg Cl_2] > 1/2[Hg_2 Cl_2]$; 2. $[Hg Br_2] > 1/2[Hg_2 Br_2]$; 3. $[Hg J_2] < [Hg_2 J_2]$; 4. $[Hg Br_2] > [Hg J_2]$; 5. $[Hg_2 Br_2] > [Hg_2 J_2]$.

Tl. 1. $[Tl Br] > [Tl J]$.

Pb. 1. $[Pb Br_2] > [Pb J_2]$; 2 $[Pb O] > 1/3[Pb_3 O_4] > [Pb O] > 1/2[Pb_2 O]$; 3. $[Pb S] > [Pb Se] > [Pb Te]$.

Bi. 1. $[Bi Br_3] > [Bi J_3]$; 2. $[Bi_2 S_3] > [Bi_2 Se_3]$.

Th. 1. $[Th Si_2] > [Th C_2]$; 2. $[Th B_6] > [Th B_4]$.

U. 1. $[U Br_4] > [U J_4]$; 2. $1/3[U_3 O_8] > [U O_2]$.

Két homolog binär vegyület összehasonlításánál az áll elől, melytől nagyobb atomvolumenváltozást várunk el, mint az utánakövetkezőtől; ahol három, vagy több került összehasonlításra, ott az atomvolumenváltozás nagyságrendjében következnek. A [bromid] > [jodid] szabályosság mind a 22 esetben fennáll. A [sulfid] > [selenid] > [tellurid] sorrendet 6 eset közül a Ni Se nem követi. A [nitrid] > [phosphid] > [arsenid] feltételnek a dilatatióval keletkező $Ba_3 P_2$ és contractióval keletkező

$Ba_3 As_2$ nem felel meg 5 eset közül. Úgy látszik, hogy az arsénnél compressibilisebb, de a phosphornál valószínűleg kevésbé összenyomható baryum ugyanazt a sorrendváltozást idézi elő, mint a P kénvegyületeiben és Cs oxydjaiban. [Antimonid] < [arsenid] egyenlőtlenség áll fenn mind a 4 esetben, melyek közül háromban az antimonid dilatatióval keletkezik, az arsenid mindig contractióval. 10 silicid atomvolumenváltozása nagyobb a carbidénál, a dilatatióval keletkező $Li_2 Si_2$-é kisebb. A boridok atomvolumenváltozása igen kicsiny, olykor contractió, máskor dilatatió.

Ugyanannak a két componensnek különböző viszonyok szerint képezett vegyületeire általában érvényes, hogy a könnyebben összenyomható componenst magasabb viszonyszám szerint tartalmazó vegyület atomvolumenváltozása lesz nagyobb. Kivételt képeznek a $V Cl_3$, $Cu_2 S$, $Zn_3 P_2$, $Mo_2 S_3$, $Sn Br_2$, $W J_4$ és $Hg J_2$. E kivételek közül a $Cu_2 S$, $Sn Br_2$ megfelelő párjukkal ($Cu S$ és $Sn Br_4$) ellentétes jelű atomvolumenváltozást szenvednek; a $W J_4$ és $Hg J_2$ *dilatatiója* nagyobb, mint a $W J_2$ é és $^1/_2 Hg_2 J_2$-é.

Hogy várakozásunk miért nem elégül ki minden esetben, annak oka lehet: 1. helytelenül meghatározott sürűség, tekintve, hogy eltérés leginkább ritka vegyületeknél fordul elő. 2. Az, hogy a contractio positiv értékét másként nem hasonlíthatjuk a dilatatió negativ értékéhez, mint hogy bármekkora dilatatió kisebb zéró contractionál; az értelmezésnek egy igen nehéz akadálya ez. 3. A feltevés, hogy az anion compressibilitása meghatározza a binär vegyületét is, egyoldalu, mert a dolognak csak physikai oldalával számol. 4. Az elemek összenyomhatósága periodusos függvény s annak bizonyítására, hogy ez a periodicitás a binär vegyületek esetében, a secundär atomvolumenváltozásra is fennáll, az értékek átalakítandók.

Leghelyesebb, ha nagy compressibilitásu anionok vegyületeit vesszük példának s az anion ugyanakkora atomvolumenváltozására számítjuk ki a kationét. E végből szükséges a componens-atomvolumenváltozás ismerete. Tudnunk kell, hogy pl. a Na Br $C = 14{,}92$ ccm contractiójából hány ccm esik a Na-ra és hány a Br-ra.

Ha egy rendszer tagjai az összenyomással szemben különböző ellenállást fejtenek ki, akkor a componens összenyomódások a volumenekkel egyenes, az ellenállásokkal fordítottan arányosak. Itt P energiahányados egyrészt mint a hőenergia térfogatváltoztató munkájával szemben fellépő ellenállás értéke, másrészt mint az atomvolumenváltozással fordítottan arányos mennyiség (lásd P értelmezését) a componens atomvolumenváltozások kiszámítására alkalmazható, bár differentiális összefüggésből vezethető le és változásáról nem sokat tudunk. Épen ilyen ideális függvényből következik az elasticitási modulus, E is, s e modulusok viszonya a vasbeton elmélet alapját képezi mégis. Itt a P energiahányadosok viszonyáról van szó, s ha változik is a volumennel P értéke, ez a hányadosban sokkal kevésbé jut kifejezésre.

Binär vegyületek esetében a componens-atomvolumenváltozások

$$\frac{av_A}{P_A} : \frac{av_B}{P_B}$$

viszonyban fognak állani egymással, melyből esetünkre (Na Br) a Na és Br atomvolumenváltozásának viszonya

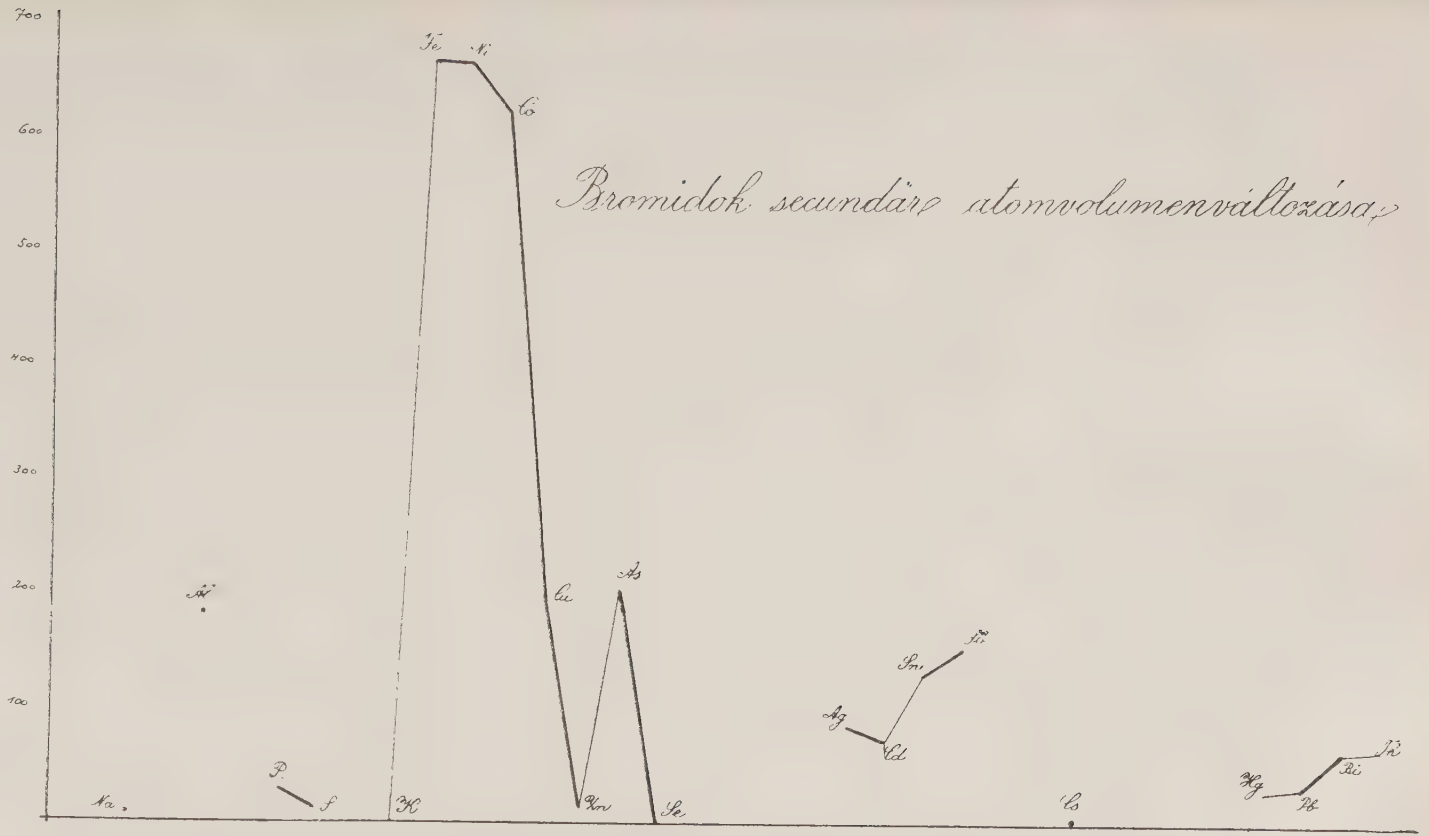
$$\frac{[Na]}{[Br]} = \frac{23{,}66}{51290} : \frac{25{,}45}{12430} = 0{,}2253.$$

A NaBr C = 14,92 ccm-nyi atomvolumenváltozását $\frac{0{,}2253}{1}$ viszony szerint kell elosztani. 1,2253 : 0,2253 = 14,92 : x; x = 2,74. C_{Na} = 2,74 ccm és C_{Br} = 12,18 ccm. Ily módon 23 bromid (V. táblázat), 16 jodid (VI. táblázat) és 28 sulfid (VII. táblázat) volt componens atomvolumenváltozásokra bontható. A táblázatok 5. rovatai annak az atomvolumenváltozásnak értékét tartalmazzák, melyből 100 ccm az anionra esik. 6. rovatai az utóbbi atomvolumenváltozás mellett a kation componens atomvolumenváltozását. Ennek az értéknek periodicitása direct felkereshető, de minthogy a kiindulást képező P energiahányados az atomvolumenváltozással fordítva arányos, hogy azzal legyenek összehasonlíthatók a kationok componens atomvolumenváltozásai, a 7. rovatok ugyanezeknek 100-szoros reciprok értékeit foglalják össze.

V. TÁBLÁZAT.

Bromidok kationjainak secundär atomvolumenváltozása.

Bromid	Atom-volumen-változás	A kationra esik	A bromra esik	A Br 100 ccm-ről való térfogatváltozása esetén összes térfogatváltozás	a = ugyanez esetben a fém térfogatváltozása	$\frac{100}{a}$
Na Br	14,92	2,740	12,180	122,50	22,50	4,45
Al Br_3	18,20	0,098	18,102	100,54	0,54	185,30
P Br_3	0,60	0,021	0,579	103,63	3,63	27,55
S_2 Br_2	0,86	0,087	0,773	111,25	11,25	9,78
K Br	26,15	12,440	13,710	190,74	90,74	1,03
Fe Br_2	11,48	0,017	10,463	100,15	0,15	666,50
Ni Br_2	10,48	0,016	10,464	100,15	0,15	666,50
Co Br_2	13,03	0,021	13,009	100,16	0,16	625,00
Cu Br	2,17	0,011	2,159	100,51	0,51	196,20
Zn Br_2	6,74	0,040	6,300	106,99	6,99	14,30
As Br_3	10,72	0,051	10,669	100,48	0,48	208,50
Se Br_2	3,14	0,740	2,400	130,83	30,83	3,24
Ag Br	6,70	0,077	6,623	101,16	1,16	86,22
Cd Br_2	7,12	0,096	7,024	101,37	1,37	73,00
Sn Br_4	12,95	0,099	12,851	100,77	0,77	129,98
Sn Br_2	12,53	0,190	12,340	101,54	1,54	65,00
Sb Br_3	7,71	0,049	7,661	100,64	0,64	156,30
Cs Br	48,25	37,800	10,450	461,14	361,14	0,28
Hg Br_2	2,90	0,097	2,803	103,46	3,46	28,92
Hg_2 Br_2	3,70	0,240	3,460	106,93	6,93	14,43
Pb Br_2	13,65	0,380	13,270	102,86	2,86	34,98
Bi Br_3	18,15	0,190	17,960	101,58	1,58	63,27
Th Br_4	25,66	0,390	25,270	101,54	1,54	65,00


700
600
500
400
300
200
100
Bromidok secundáre atomvolumenváltozása
3. grapikikon

VI. TÁBLÁZAT.

Jodidok kationjainak secundär atomvolumenváltozása.

Jodid	Atom-volumen-változás	A kationra esik	A jodra esik	A J 100 cm-rel való térfogatváltozása esetén összes térfogatváltozás.	a ugyanez esetben a fém térfogatváltozása	$\frac{100}{a}$
CJ_4	13,95	0,003	13,947	100,02	0,02	5000,00
Na J	7,16	3,17	3,99	179,45	79,45	1,26
$Al J_3$	67,37	1,27	66,10	101,92	1,92	52,15
K J	16,59	12,73	3,86	429,79	329,79	0,30
Cu J	10,35	0,18	10,17	101,77	1,77	56,50
$Zn J_2$	7,30	0,18	7,12	102,53	2,53	39,55
$As J_3$	6,59	0,11	6,48	101,70	1,70	58,80
Ag J	5,48	0,22	5,26	109,89	9,89	10,11
$Cd J_2$	3,33	1,58	1,75	190,29	90,29	1,08
$Sn J_4$	14,03	0,37	13,66	102,71	2,71	37,92
$Sb J_3$	11,55	0,27	11,28	102,39	2,39	41,80
Cs J	39,27	36,38	2,89	1358,82	1258,82	0,08
$Hg J_2$	6,36	0,69	5,67	112,17	12,17	8,22
$Hg_2 J_2$	4,04	0,80	3,24	124,69	24,69	4,05
$Pb J_2$	5,15	0,44	4,71	109,34	9,34	10,70
$Bi J_3$	2,390	0,085	2,305	103,69	3,69	27,10

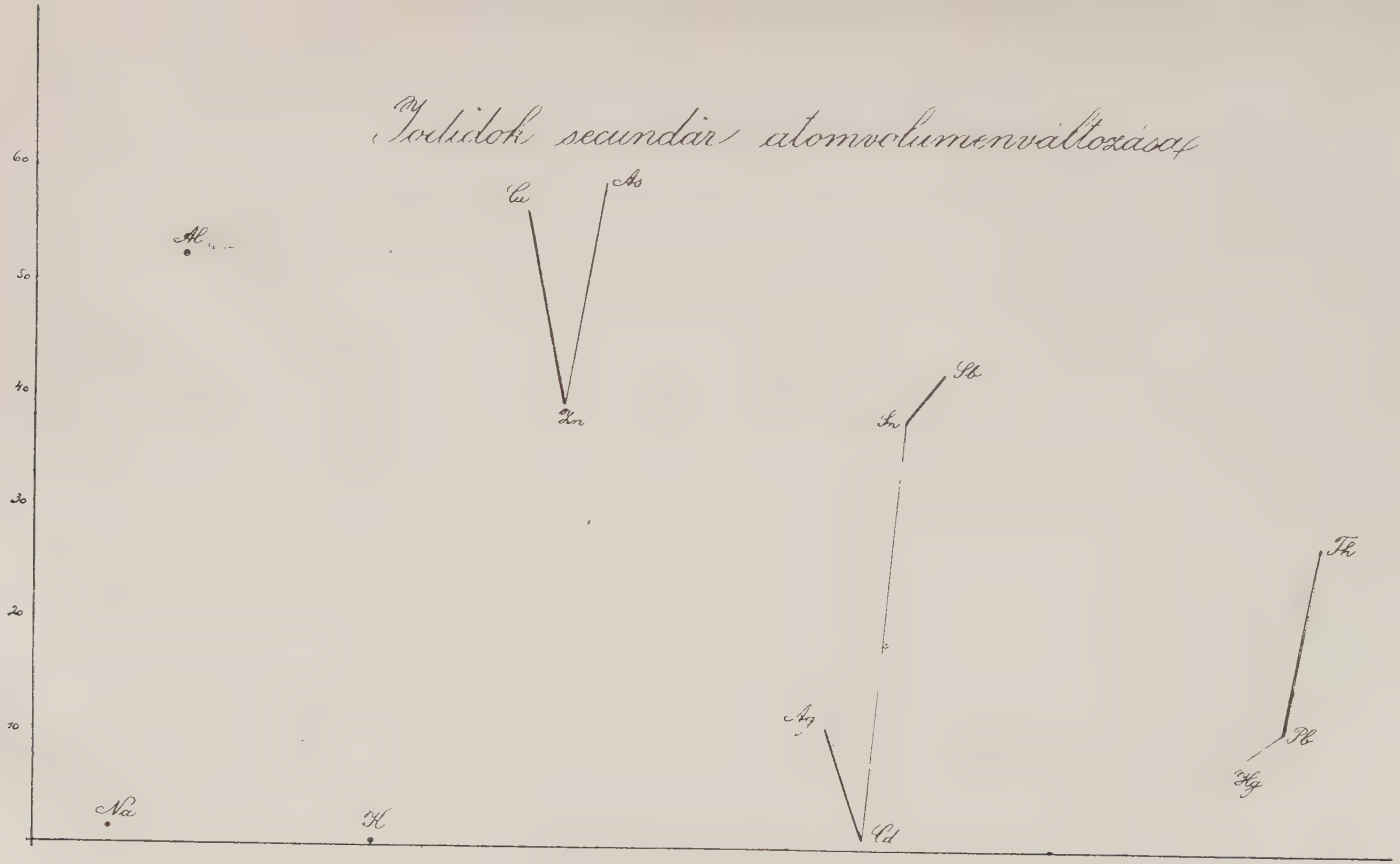
VII. TÁBLÁZAT.

Sulfidok kationjainak secundär atomvolumenváltozása.

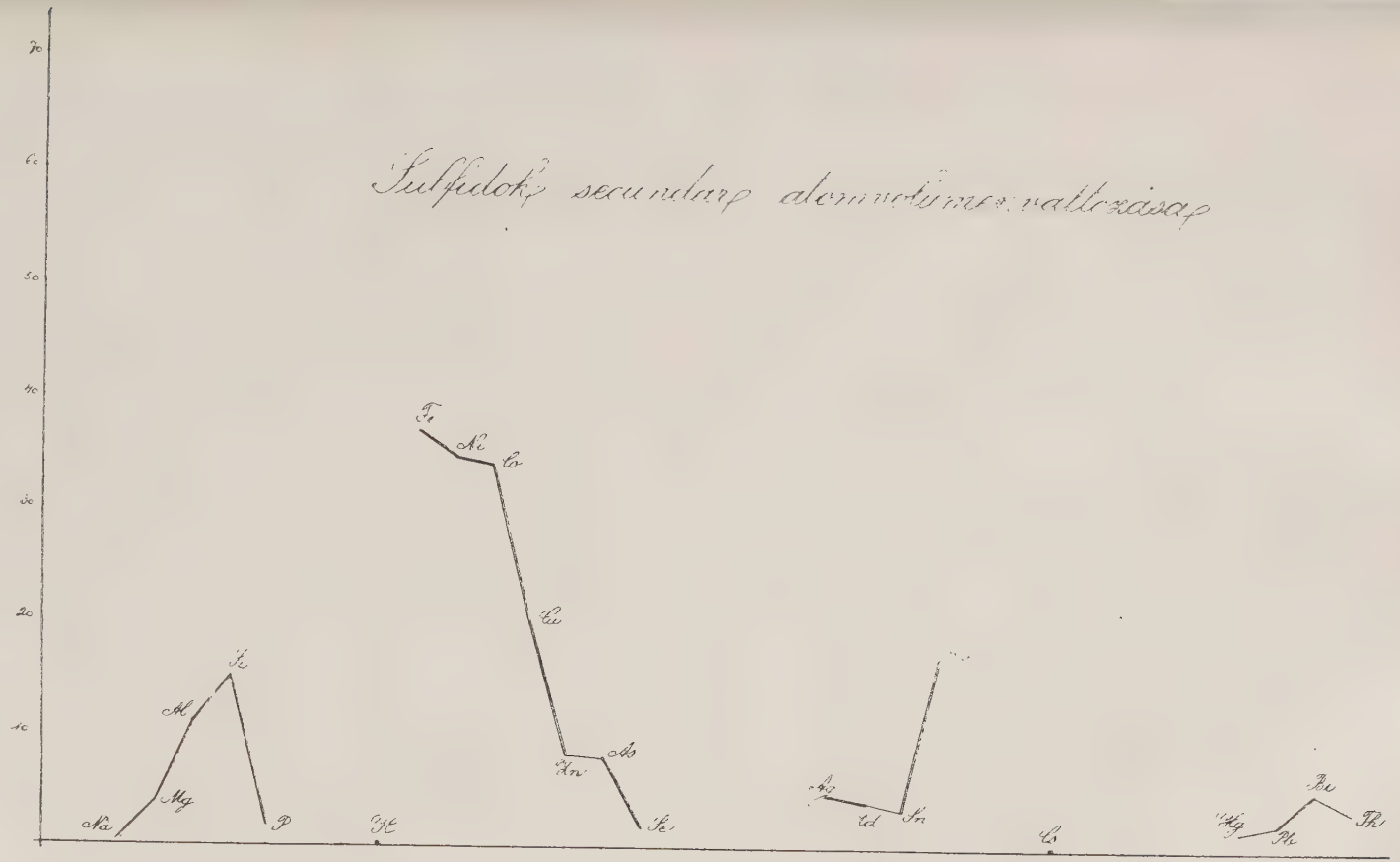
Sulfid	Atom-volumen-változás	A kationra esik	A kénre esik	A S 100 cm-rel való térfogatváltozása esetén összes térfogatváltozás	a ugyanez esetben a fém térfogatváltozása	$\frac{100}{a}$
CS_2	23,46	0,03	23,43	100,13	0,13	707,00
$Na_2 S$	32,41	25,96	6,45	502,48	402,48	0,25
Mg S	10,69	2,17	8,52	125,64	25,64	3,90
$Al_2 S_3$	7,62	0,64	6,98	109,19	9,19	10,87

Sulfid	Atom-volumen-változás	A kationra esik	A kénre esik	A S 100 ccm-ről való térfogatváltozása esetén összes térfogatváltozás	a ugyanez esetben a fém térfogatváltozása	$\frac{100}{a}$
Si S	3,80	0,24	3,56	106,74	6,74	14,83
$P_2 S_3$	5,02	1,99	3,03	165,68	65,68	1,52
$P_2 S_5$	68,15	19,27	48,88	139,62	39,62	2,53
$K_2 S$	54,80	51,66	3,14	1777,08	1677,08	0,06
Fe S	5,64	0,15	5,49	102,73	2,73	36,68
$Fe_2 S_3$	16,29	0,28	16,01	101,75	1,75	57,20
$Fe S_2$	15,82	0,21	15,61	101,35	1,35	74,10
Ni S	3,58	0,10	3,48	102,87	2,87	34,85
Co S	6,70	0,19	6,51	102,92	2,92	34,28
$Cu_2 S$	3,22	0,27	2,95	109,15	9,15	10,93
Cu S	0,21	0,01	0,20	105,00	5,00	20,00
Zn S	1,91	0,21	1,70	112,35	12,35	8,12
$As_2 S_3$	19,62	2,22	17,40	112,76	12,76	7,84
Se S	1,13	0,39	0,74	152,70	52,70	1,90
$Ag_2 S$	3,26	0,56	2,70	120,74	20,74	4,82
Cd S	0,11	0,02	0,09	122,22	22,22	4,51
Sn S	4,14	0 90	3,24	127,78	27,78	3,60
$Sb_2 S_3$	4,38	0,24	4,14	105,79	5,79	17,27
$Cs_2 S_5$	7,84	68,55	5,29	1395,84	1295,84	0,08
Pt S	0,29	0,01	0,28	103,57	3,57	28,01
Hg S	2,74	1,05	1,69	162,13	62,13	1,61
Pb S	3,70	1,19	2,51	147,41	47,41	2,11
$Bi_2 S_3$	23,99	3,79	20,20	118,76	18,76	5,33
$Th S_2$	10,88	2,37	8,51	127,84	27,84	3,60

A 3., 4. és 5. ábrák, melyeknek abscissái az atomsúlyok, ordinátái a bromidok, jodidok, illetve sulfidok secundär atomvolumenváltozásának (az anion 100 ccm-nyi atomvolumenváltozására számítva!) 100-szoros reciprok értékei, kiadják ugyanazokat a hullámhegyeket és hullámvölgyeket, ugyanazokat a jellemző fordulópontokat, amelyeket legelsőbben a 2. ábrán láttunk. Így *a secundär atomvolumenváltozás is az atomsúlyok periodusos függvénye.*


Solidok secundär atomvolumenváltozása
60
50
40
30
20
10
Cu
As
Al
Zn
Sb
Sn
Ag
Cd
Tl
Pb
Hg
Na
K

4. graphikon.


Sulfidok secundar atomvolumenvattozása
70
60
50
40
30
20
10
Na
Mg
Al
Si
P
Fe
Ni
Co
Cu
Zn
As
Se
Ag
Cd
Sn
Cs
Hg
Pb
Bi
Th

5. graphikon

VIII. TÁBLÁZAT.

Ternär vegyületek atomvolumenváltozása elemeikből való képződésük esetén

Képlet	Az elemi atomvolumenek összege ccm	Molekulasúly g	Sürűség $\frac{g}{ccm}$	Molekulavolumen ccm	Atomvolumenváltozás C ccm	Képződéshő H kj	Hányados $\frac{C}{H} \cdot 100$
		Chloratok					
$NaClO_3$	23,66 + 65,48 = 89,14	106,46	2,289	46,50	42,64	320	13,30
$KClO_3$	44,94 + 65,48 = 110,42	122,56	2,331	52,63	57,79	358	16,13
$AgClO_3$	10,28 + 65,48 = 75,76	191,34	4,430	43,21	32,55		
$Ba(ClO_3)_2$	36,34 + 130,96 = 167,30	304,29	2,988	101,80	65,50	698	9,38
$Pb(ClO_3)_2$	18,26 + 130,96 = 149,22	374,02	4,037	92,55	56,67		
		Bromatok					
$NaBrO_3$	23,66 + 68,32 = 91,98	150,92	3,339	45,21	46,77		
$KaBrO_3$	44,94 + 68,32 = 113,26	167,02	3,24	51,50	61,66	337	18,29
$AgBrO_3$	10,28 + 68,32 = 78,60	235,80	5,206	45,32	33,28		
		Jodatok					
$NaJO_3$	23,66 + 68,60 = 92,26	197,92	4,277	46,28	45,98		
KJO_3	44,94 + 68,60 = 113,54	214,02	3,89	55,05	58,49	512	11,42
$RbJO_3$	55,78 + 68,60 = 124,38	260,37	4,559	57,22	67,16		
$AgJO_3$	10,28 + 68,60 = 78,88	282,80	5,525	51,24	27,64		
$CsJO_3$	71,02 + 68,60 = 139,62	307,73	4,831	63,73	75,89		
$Ba(JO_3)_2$	37,34 + 137,20 = 173,54	487,21	5,23	93,04	80,50		

Sulfatok

Li_2SO_4	25,14 + 73,86 = 99,00	109,95	2,210	49,76	49,24	1376	3,58
$BeSO_4$	4,72 + 73,86 = 78,58	105,1	2,443	43,02	35,56		
Na_2SO_4	47,32 + 73,86 = 121,18	142,07	2,655	53,51	67,67	1353	5,00
$MgSO_4$	13,98 + 73,86 = 87,84	120,34	2,65	45,46	42,38	1243	3,41
$Al_2(SO_4)_3$	20,98 + 221,58 = 242,56	342,4	2,71	126,35	116,31		
K_2SO_4	89,88 + 73,86 = 163,74	174,24	2,647	65,80	97,94	1420	6,89
$CaSO_4$	26,36 + 73,86 = 100,22	136,17	2,97	45,81	54,41	1367	3,98
$Cr_2(SO_4)_3$	15,02 + 221,58 = 236,60	392,2	3,012	130,15	106,45		
$MnSO_4$	7,40 + 73,86 = 81,26	151,00	2,954	51,20	30,06	1024	2,93
$FeSO_4$	7,10 + 73,86 = 80,96	151,91	2,99	50,80	30,16	978	3,08
$Fe_2(SO_4)_3$	14,20 + 221,58 = 235,78	399,89	3,097	129,00	106,78	2670	4,01
$NiSO_4$	6,67 + 73,86 = 80,53	154,75	3,674	42,18	38,35	958	4,00
$CoSO_4$	6,70 + 73,86 = 80,50	155,04	3,531	43,92	36,58	958	3,82
$CuSO_4$	7,12 + 73,86 = 80,98	159,64	3,58	44,65	36,33	742	4,90
$ZnSO_4$	9,21 + 73,86 = 83,07	161,44	3,49	46,26	36,81	940	3,92
Rb_2SO_4	111,56 + 73,86 = 185,42	266,97	3,6113	73,95	111,47	1423	7,84
$SrSO_4$	34,50 + 73,86 = 108,36	183,70	3,71	49,50	58,86	1362	4,33
$Y_2(SO_4)_3$	46,84 221,58 = 268,42	466,2	2,612	178,50	89,92		
Ag_2SO_4	20,56 + 73,86 = 94,42	311,83	5,425	57,49	36,93	678	5,44
$CdSO_4$	13,00 + 73,86 = 86,86	208,47	4,72	44,26	42,60	913	4,66
$In_2(SO_4)_3$	32,24 + 221,58 = 253,82	517,8	3,438	170,50	103,32		
Cs_2SO_4	142,04 + 73,86 = 215,90	361,69	4,2434	85,27	130,63	1445	9,05
$BaSO_4$	36,34 + 73,86 = 110,20	233,44	4,330	53,90	56,30	1406	4,02

Képlet	Az elemi atomvolumenek összege ccm	Molekulasúly g	Sürűség $\frac{g}{ccm}$	Molekulavolumen ccm	Atomvolumenváltozás C = ccm	Képződéshő H = kj	Hányados $\frac{C}{H} \cdot 100$
$La_2 (S O_4)_3$	45,20 + 221,58 = 266,78	566,2	3,6	157,06	109,72		
$Ce S O_4$	19,92 + 73,86 = 93,78	236,32	3,912	60,49	33,29		
$Pr_2 (S O_4)_3$	43,46 + 221,58 = 265,04	569,4	3,720	153,00	112,04		
$Er_2 (S O_4)_3$	72,32 + 221,58 = 293,90	623,6	3,678	169,42	124,48		
$Hg_2 S O_4$	29,60 + 73,86 = 103,46	496,19	7,56	65,64	37,82	703	5,38
$Hg S O_4$	14,40 + 73,86 = 88,60	296,13	6,47	45,78	42,88	670	6,41
$Tl_2 S O_4$	34,44 + 73,86 = 108,30	504,0	6,77	74,61	33,69	906	3,72
$Pb S O_4$	18,26 + 73,86 = 92,12	303,17	6,23	48,62	43,50	882	4,93
$Th (S O_4)_2$	21,13 + 147,72 = 168,85	424,54	4,2252	100,40	68,45		
	Dithionatok						
$Na_2 S_2 O_6$	47,32 + 119,14 = 166,46	206,14	2,189	94,13	72,33	1627	4,44
$K_2 S_2 O_6$	89,88 + 119,14 = 209,02	238,34	2,277	104,77	104,25	1697	6,14
	Selenatok						
$Na_2 Se O_4$	47,32 + 75,75 = 123,07	189,2	3,213	58,90	64,17		
$K_2 Se O_4$	89,88 + 75,75 = 165,63	221,4	3,077	72,00	93,63		
$Ag_2 Se O_4$	20,56 + 75,75 = 96,31	358,9	5,93	60,50	35,81		
$Ba Se O_4$	36,34 + 75,75 = 112,09	280,5	4,75	58,95	53,14		
$Pb Se O_4$	18,26 + 75,75 = 94,01	350,3	6,22	56,30	37,71		

Chromatok						
$Na_2 Cr O_4$	47,32 + 64,67 = 111,99	162,0	2,723	59,53	52,46	
$K_2 Cr O_4$	89,88 + 64,67 = 154,55	194,2	2,721	71,42	83,13	
$Sr Cr O_4$	34,50 + 64,67 = 99,17	203,6	3,895	52,30	46,87	
$Ag_2 Cr O_4$	20,56 + 64,67 = 85,23	331,7	5,625	57,91	27,32	
$Ba Cr O_4$	36,34 + 64,67 = 101,01	253,3	4,60	55,12	45,89	
$Pb Cr O_4$	18,26 + 64,67 = 82,93	323,1	6,29	51,30	31,63	
Pyrochromatok						
$Na_2 Cr_2 O_7$	47,32 + 115,05 = 162,37	262,0	2,5206	103,96	58,41	
$K_2 Cr_2 O_7$	89,88 + 115,05 = 204,93	294,2	3,531	83,40	121,53	
$Ag_2 Cr_2 O_7$	20,56 + 115,05 = 135,61	431,7	4,669	92,50	43,11	
Molybdatok						
$Ba Mo O_4$	36,34 + 67,81 = 104,15	297,3	4,654	63,89	40,26	
$Pb Mo O_4$	18,26 + 67,81 = 86,07	367,1	6,62	55,50	30,57	
Wolframatok						
$Na_2 W O_4$	47,32 + 66,79 = 114,11	294,0	4,179	70,38	43,73	
$Ca W O_4$	26,36 + 66,79 = 93,15	288,0	6,062	47,52	45,63	
$Fe W O_4$	7,10 + 66,79 = 73,89	303,8	6,801	44,71	29,18	
$Sr W O_4$	34,50 + 66,79 = 101,29	335,6	6,184	54,25	47,04	
$Ba W O_4$	36,34 + 66,79 = 103,13	385,3	6,35	60,62	42,51	
$Pb W O_4$	18,26 + 66,79 = 85,05	455,1	8,17	55,75	29,30	
Nitritek						
$Li N O_2$	12,57 + 44,32 = 56,89	52,95	1,671	31,68	25,21	
$Na N O_2$	23,66 + 44,32 = 67,98	69,01	2,177	31,66	36,32	

Képlet	Az elemi atomvolumenek összege ccm	Molekulasúly g	Sűrűség g/ccm	Molekulavolumen ccm	Atomvolumenváltozás C ccm	Képződéshő H kj	Hányados C/H . 100
KNO_2	44,94 + 44,32 = 89,26	85,11	1,915	44,39	44,87		
$Ca(NO_2)_2$	23,36 + 88,64 = 115,00	132,09	2,294	57,51	57,49		
$Sr(NO_2)_2$	34,50 + 88,64 = 123,14	179,65	2,867	62,70	60,44		
$AgNO_2$	10,28 + 44,32 = 54,60	153,89	4,453	34,60	20,00		
$Ba(NO_2)_2$	36,34 + 88,64 = 124,98	229,39	3,23[?]	71,12	53,86		
Nitratok							
$LiNO_3$	12,57 + 58,61 = 71,18	68,95	2,39	28,84	42,34	444	9,55
$NaNO_3$	33,66 + 58,61 = 82,27	85,01	2,244	37,85	44,42	441	10,07
KNO_3	44,94 + 58,61 = 103,55	101,11	2,092	43,37	60,18	475	12,64
$Ca(NO_3)_2$	26,36 + 117,22 = 143,58	164,09	2,36	69,55	74,03	800	9,25
$Sr(NO_3)_2$	34,50 + 117,22 = 151,72	211,64	2,93	72,30	79,42	875	9,29
$AgNO_3$	10,28 + 58,61 = 68,89	169,89	4,342	39,18	29,71	89	3,34
$Ba(NO_3)_2$	36,34 + 117,22 = 153,56	261,39	3,230	81,00	72,56	901	8,06
$TlNO_3$	17,22 + 58,61 = 75,83	266,0	5,55	47,94	27,89	222	12,56
$Pb(NO_3)_2$	18,26 + 117,22 = 135,48	331,12	4,41	75,22	60,26	395	15,25
Metaphosphatok							
$NaPO_3$	23,66 + 59,83 = 83,49	102,0	2,258	45,22	38,27		
$Al(PO_3)_3$	10,49 + 179,49 = 189,98	264,1	2,779	95,01	94,97		
KPO_3	44,94 + 59,83 = 104,77	118,1	2,476	47,74	57,03		

$Cr_2 (P O_3)_6$	15,02 + 378,98 = 374,00	578,0	2,974	194,50	179,50		
$Fe (P O_3)_3$	7,10 + 179,49 = 186,59	292,8	3,020	97,00	89,55		
$Th (P O_3)_4$	21,13 + 239,32 = 260,45	548,4	4,08	134,17	126,28		
		Orthophosphatok					
$Si_3 P O_4$	37,71 + 74,12 = 111,83	115,8	2,41	48,18	63,05		
$Na_3 P O_4$	70,98 + 74,12 = 145,10	164,0	2,536	64,72	80,38	1870	4,29
$Al P O_4$	10,49 + 74,12 = 84,61	122,1	2,59	47,22	37,39		
$Ca_3 (P O_4)_2$	79,08 + 148,24 = 227,32	310,2	3,18	97,55	129,77	3784	3,44
$Zn_3 (P O_4)_2$	27,63 + 148,24 = 175,87	386,1	3,99	96,76	79,11		
$Ag_3 P O_4$	30,84 + 74,12 = 104,96	418,6	6,370	65,80	39,16		
$Ba_3 (P O_4)_2$	109,02 + 148,24 = 257,26	602,1	4,1	146,65	110,61	3938	2,81
$Tl_3 P O_4$	51,66 + 74,12 = 125,78	707,0	6,89	102,47	23,31		
$Pb_3 (P O_4)_2$	54,78 + 148,24 = 203,02	811,3	7,1	114,15	88,87		
$Bi P O_4$	21,20 + 74,12 = 95,39	303,0	6,323	47,86	47,53		
		Pyrophosphatok					
$Na_4 P_2 O_7$	94,64 + 133,95 = 228,59	266,0	2,45	108,60	119,99		
$Mg_2 P_2 O_7$	27,96 + 133,95 = 161,91	222,6	2,40	92,72	69,19		
$Y_4 (P_2 O_7)_3$	93,68 + 401,85 = 495,53	522,0	3,059	170,27	325,56		
$Ag_4 P_2 O_7$	41,12 + 133,95 = 175,07	695,5	5,306	114,03	61,04		
$Ba_2 P_2 O_7$	72,68 + 133,95 = 206,63	448,7	3,9	115,12	91,51		
$Pb_2 P_2 O_7$	36,52 + 133,95 = 170,47	588,2	5,8	101,45	69,02		
		Orthoarseniatok					
$Li_3 As O_4$	37,71 + 77,53 = 115,24	159,78	3,07	52,17	63,07		

Képlet	Az elemi atomvolumenek összege ccm	Molekulasúly g	Sűrűség $\frac{g}{ccm}$	Molekulavolumen ccm	Atomvolumenváltozás C. ccm	Képződéshő H = kj	Hányados $\frac{C}{H} \cdot 100$
$Na_2 As O_4$	70,98 + 77,53 = 148,51	207,96	2,835	73,30	75,21		
$Ag_3 As O_4$	30,84 + 77,33 = 108,37	462,6	6,657	69,55	38,82		
Carbonatok							
$Li_2 C O_3$	25,14 + 46,11 = 71,25	73,88	2,11	35,04	36,21	1643	2,20
$Na_2 C O_3$	47,32 + 46,11 = 93,43	106,00	2,476	42,76	50,67	1123	4,52
$Mg C O_3$	13,98 + 46,11 = 60,09	84,32	3,04	27,73	32,36	1698	2,94
$K_2 C O_3$	89,88 + 46,11 = 135,99	138,20	2,29	60,40	75,59	1148	6,58
$Ca C O_3$	26,36 + 46,11 = 72,47	100,07	2,834	35,30	37,17	1175	3,16
$Mn C O_3$	7,40 + 46,11 = 53,51	114,93	3,125	36,78	16,73	865	1,93
$Fe C O_3$	7,10 + 46,11 = 53,21	115,84	3,80	30,53	22,68	733	3,09
$Zn C O_3$	9,21 + 46,11 = 55,32	125,37	4,44	28,25	27,07	798	3,38
$Sr C O_3$	34,50 + 46,11 = 80,61	147,62	3,62	43,92	36,69	1159	3,16
$Ag_2 C O_3$	20,56 + 46,11 = 66,67	275,76	6,077	45,45	21,22	497	4,28
$Cd C O_3$	13,00 + 46,11 = 59,11	172,40	4,258	40,64	18,47	744	2,48
$Ba C O_3$	36,34 + 46,11 = 82,45	197,37	4,275	46,22	36,23	1183	3,06
$Tl_2 C O_3$	34,44 + 46,11 = 80,55	468,0	7,11	66,08	14,47		
$Pb C O_3$	18,26 + 46,11 = 64,37	267,10	6,43	41,50	22,87	681	3,36
Metasilicatok							
$Li_2 Si O_3$	25,14 + 54,91 = 80,05	90,1	2,61	34,55	45,50		

$Mg\,Si\,O_3$	13,98 + 54,91 = 68,89	100,6	3,06	32,90	35,99			
$Cd\,Si\,O_3$	26,36 + 54,91 = 81,27	116,3	2,85	40,81	40,46	1425	2,84	
$Mn\,Si\,O_3$	7,40 + 54,91 = 62,31	131,2	3,58	36,68	25,63	1137	2,25	
$Fe\,Si\,O_3$	7,10 + 54,91 = 62,01	132,1	3,44	38,42	23,59	1048	2,25	
$Zn\,Si\,O_3$	9,21 + 54,91 = 64,12	141,6	3,86	36,68	27,44			
$Sr\,Si\,O_3$	34,50 + 54,91 = 89,41	163,9	3,91	41,92	47,49			
$Ba\,Si\,O_3$	36,34 + 54,91 = 91,25	213,6	3,77	56,70	34,55			
Orthosilicatok								
$Be_2\,Si\,O_4$	9,44 + 69,20 = 78,64	110,5	2,46	44,90	33,74			
$Mg_2\,Si\,O_4$	27,96 + 69,20 = 97,16	140,9	3,21	43,90	53,26			
$Zn_2\,Si\,O_4$	18,42 + 69,20 = 87,62	223,0	3,7	60,27	27,35			
$Sr_2\,Si\,O_4$	69,00 + 69,20 = 138,20	267,5	3,84	69,73	68,47			
$Zr\,Si\,O_4$	14,16 + 69,20 = 83,36	182,9	4,51	40,62	42,74			
Metatitanatok								
$Ca\,Ti\,O_3$	26,36 + 53,56 = 79,92	136,1	4,0	34,01	45,91			
$Fe\,Ti\,O_3$	7,10 + 53,56 = 60,66	151,9	4,69	32,38	28,28			
$Zn\,Ti\,O_3$	9,21 + 53,56 = 62,77	161,4	3,17	51,00	11,77			
Metaboratok								
$Cu\,(B\,O_2)_2$	7,12 + 66,14 = 73,26	149,5	3,859	38,75	34,51			
$Pb\,(B\,O_2)_2$	18,26 + 66,14 = 84,40	293,1	5,598	48,92	35,48			

Ez az eredmény egyben igazolja annak a megközelítő eljárásnak helyességét, melylyel a binär atomvolumenváltozást componens változásokra bontottuk.

Tertiär atomvolumenváltozás. Az itt felsorolt ternär vegyületek, melyek kizárólag oxysók, a binärektől eltérőleg az anion szerint vannak csoportosítva. Egy csoporton belől ugyanannak az anionnak homolog vegyületei pedig a kation atomsúlyrendje szerint. Maguk a csoportok a savgyökben foglalt metalloidra való tekintettel következnek. Elsők a chloratok, bromatok, jodatok (VII. csoport metalloidjai!); ugyanez elv szerint a sulfatok, dithionatok, selenatok, chromatok, pyrochromatok, molybdatok és wolframátok jönnek (VI. csoport); majd a nitritek, nitratok, metaphosphatok, orthophosphatok, pyrophosphatok és orthoarseniatok (V. csoport); aztán carbonatok, metasilicatok, orthosilicatok és metatitanatok (IV. csoport); végűl pedig a metaboratok (III. csoport).

A táblázat tanulságai egyfelől homolog, másfelől ugyanannak a fémnek analog vegyületeit hasonlítva össze, az alábbiakban a már a binäreknél használt jelzés-mód szerint következnek.

I. A homolog oxysók atomvolumenváltozását lehetőleg a kation periodusos csoportján belől maradva hasonlítottuk össze. A periodusos rendszer hiányosságai útjában állnak a tagok exact és következetes csoportosításának; az alkaliák oxysói a fém atomsúlyrendjében következnek, tekintet nélkül arra, hogy melyik tartozik a fő-, melyik a mellékcsoporthoz; a réz oxysóinak atomvolumenváltozása az ezüst oxysóihoz hasonlíttatik s a manganoxysókéi a vas-, nickel- és cobalt-oxysók atomvolumenváltozásához. Két vegyület esetén első az, melynek kationja a compressibilisebb; több esetében az atomvolumenváltozás nagysága szerint következnek.

Chlorat: $[KClO_3] > [NaClO_3]$;

bromat: $[KBrO_3] > [NaBrO_3]$;

jodat: $[CsJO_3] > [RbJO_3] > [KJO_3] > [NaJO_3]$.

Sulfat: $[Cs_2SO_4] > [Rb_2SO_4] > [K_2SO_4] > [Na_2SO_4] > [Li_2SO_4]$, $[Ag_2SO_4] \overset{>}{\cdot} [CuSO_4]$, $[SrSO_4] \overset{>}{\cdot} [BaSO_4] \overset{>}{\cdot} [CaSO_4]$,

[1] $\overset{>}{\cdot}$ — nagyobb, de közel egyenlő, $\overset{<}{\cdot}$ — kisebb, de közel egyenlő.

$[Mg\,S\,O_4] > [Be\,S\,O_4]$, $[Cd\,S\,O_4] > [Zn\,S\,O_4]$, $[La_2\,(S\,O_4)_3] > [Y_2\,(S\,O_4)_3]$, $[Al_2\,(S\,O_4)_3] \gtrless [In_2\,(S\,O_4)_3]$, $[Th\,(S\,O_4)_2] > [Ce\,S\,O_4]$, $[Ni\,S\,O_4] \gtrless [Co\,S\,O_4] > [Fe\,S\,O_4] \gtrless [Mn\,S\,O_4]$;

dithionat: $[K_2\,S_2\,O_6] > [Na_2\,S_2\,O_6]$;

selenat: $[K_2\,Se\,O_4] > [Na_2\,Se\,O_4]$;

chromat: $[K_2\,Cr\,O_4] > [Na_2\,Cr\,O_4]$, $[Sr\,Cr\,O_4] \gtrless [Ba\,Cr\,O_4]$;

pyrochromat: $[K_2\,Cr_2\,O_7] > [Na_2\,Cr_2\,O_7]$;

wolframat: $[Sr\,W\,O_4] \gtrless [Ca\,W\,O_4] \gtrless [Ba\,W\,O_4]$.

Nitrit: $[K\,N\,O_2] > [Na\,N\,O_2] > [Li\,N\,O_2]$, $[Sr\,(N\,O_2)_2] \gtrless [Ca\,(N\,O_2)_2] \gtrless [Ba\,(N\,O_2)_2]$;

nitrat: $[K\,N\,O_3] > [Na\,N\,O_3] > [Li\,N\,O_3]$, $[Sr\,(N\,O_3)_2] \gtrless [Ca\,(N\,O_3)_2] \gtrless [Ba\,(N\,O_3)_2]$;

metaphosphat: $[K\,P\,O_3] > [Na\,P\,O_3]$;

orthophosphat: $[Na_3\,P\,O_4] > [Li_3\,P\,O_4]$, $[Ca_3\,(P\,O_4)_2] > [Ba_3\,(P\,O_4)_2]$, $[Al\,P\,O_4] > [Tl_3\,P\,O_4]$;

orthoarseniat: $[Na_3\,As\,O_4] > [Li_3\,As\,O_4]$.

Carbonat: $[K_2\,C\,O_3] > [Na_2\,C\,O_3] > [Li_2\,C\,O_3]$, $[Ca\,C\,O_3] \gtrless [Sr\,C\,O_3] \gtrless [Ba\,C\,O_3]$, $[Cd\,C\,O_3] > [Zn\,C\,O_3]$, $[Fe\,C\,O_3] > [Mn\,C\,O_3]$;

metasilicat: $[Sr\,Si\,O_3] > [Ca\,Si\,O_3] > [Ba\,Si\,O_3]$, $[Fe\,Si\,O_3] \lessgtr [Mn\,Si\,O_3]$;

orthosilicat: $[Mg\,Si\,O_4] > [Be\,Si\,O_4]$.

Az alkáli fémek oxysóinak atomvolumenváltozása *a kation atomsúlyrendjében nő*. Az alkáli földfémek oxysóinak atomvolumenváltozása, a metasilicatok kivételével, *igen közelálló egymáshoz*; többnyire a strontiumoxysóé a legnagyobb. A beryllíumoxysóknál a magnesiumoxysók compressibilisebbnek látszanak; a Mn, Fe, Ni és Co oxysók atomvolumenváltozása *csaknem egyenlő*, de a manganoxysóé *mindig a legkisebb*.

II. Ugyanegy fém analog oxysói.

Chlorat-bromat-jodat: $[Na\,Cl\,O_3] \gtrless [Na\,J\,O_3] \gtrless [Na\,Br\,O_3]$, $[K\,J\,O_3] \gtrless [K\,Cl\,O_3] \gtrless [K\,Br\,O_3]$, $[Ag\,J\,O_3] > [Ag\,Br\,O_3] \gtrless [Ag\,Cl\,O_3]$, $[Ba\,(J\,O_3)_2] > [Ba\,(Cl\,O_3)_2]$.

Sulfat-selenat-chromat-molybdat-wolframat: $[Na_2\,S\,O_4] > [Na_2\,Se\,O_4] > [Na_2\,Cr\,O_4] > [Na_2\,W\,O_4]$, $[K_2\,S\,O_4] > [K_2\,Se\,O_4] > [K_2\,Cr\,O_4]$, $[Ca\,S\,O_4] > [Ca\,W\,O_4]$, $[Fe\,S\,O_4] > [Fe\,W\,O_4]$, $[Sr\,S\,O_4] > [Sr\,W\,O_4] \gtrless [Sr\,Cr\,O_4]$, $[Ag_2\,S\,O_4] > [Ag_2\,Cr\,O_4]$,

$[Ba\,S\,O_4] > [Ba\,Se\,O_4] > [Ba\,Cr\,O_4] > [Ba\,W\,O_4] \gtrless [Ba\,Mo\,O_4]$, $[Pb\,S\,O_4] > [Pb\,Se\,O_4] > [Pb\,Cr\,O_4] > [Pb\,Mo\,O_4] > [Pb\,W\,O_4]$.

Nitrat metaphosphat: $[Na\,N\,O_3] > [Na\,P\,O_3]$, $[K\,N\,O_3] > > [K\,P\,O_3]$.

Orthophosphat-orthoarseniat: $[Li_3\,P\,O_4] \gtrless [Li_3\,As\,O_4]$, $[Na_3\,P\,O_4] > [Na_3\,As\,O_4]$, $[Ag_3\,P\,O_4] \gtrless [Ag_3\,As\,O_4]$.

Carbonat-metasilicat-metatitanat: $[Li_2\,Si\,O_3] > [Li_2\,C\,O_3]$, $[Mg\,Si\,O_3] > [Mg\,C\,O_3]$, $[Ca\,Ti\,O_3] > [Ca\,Si\,O_3] > [Ca\,C\,O_3]$, $[Mn\,Si\,O_3] > [Mn\,C\,O_3]$, $[Fe\,Ti\,O_3] > [Fe\,Si\,O_3] > [Fe\,C\,O_3]$, $[Zn\,Si\,O_3] \gtrless [ZnC\,O_3] > [Zn\,Ti\,O_3]$, $[Sr\,Si\,O_3] > [Sr\,C\,O_3]$, $[Ba\,C\,O_3] > > [Ba\,Si\,O_3]$.

Ugyanazon tém analog oxysói közül a cloratok-bromatok és jodatok atomvolumenváltozásában nem mutatkozik határozott sorrend, ami annak tulajdonítható, hogy a savmaradékok compressibilitásában mutatkozó kis különbségeket secundär jelenségek elfedik. (Az atomvolumenváltozások igen közeli értékek!) — A sulfat-selenat-chromat-molybdat és wolframatok atomvolumenváltozása nyolc eset közül hatban ugyanígy következik nagyságrendben; a strontiumchromat contractiója kisebb a strontiummolybdaténál, a bayumvolframaté valamivel nagyobb a baryummolybdaténál. A carbonatok, metasilicatok és metatitanatok atomvolumenváltozása nyolc eset közül kettőben tér el a metatitanat, metasilicat és carbonat nagyságrendtől; és pedig az idetartozó cinkoxysók közül a cinkmetatitanat contractiója legnagyobb és a baryummetasilicat contractiója kisebb a baryumcarbonaténál.

Úgy a homolog, mint az analog oxysók összehasonlítása nagyjában várakozásunknak megfelelő eredményt szolgáltat. Az összehasonlított homologok közül annak az atomvolumenváltozása nagyobb rendszerint, melynek kationja compressibilisebb, illetve melynek kationját kisebb P energiahányados jellemzi. Az egyenlő szerkezetü analogonok közul az keletkezik nagyobb atomvolumenváltozással, melynek oxygeniumon kivüli savgyök-amphidja, vagy savgyök-metalloidja az inkább összenyomható, illetve kisebb P energiahányados által jellemzett. Ismeretlen compressibilitások felől is nyerünk tájékozódást. Mindenek előtt az alkaliföldfémeket közel egyenlően összenyom-

hatóknak találjuk. A magnesiumnál a beryllium, az yttriumnál a lanthan, a ceriumnál a thorium compressibilisebb. A chrom a selénnél, a molybdän és wolfram, a chromnál kevésbbé összenyomható; a molybdän és wolfram, silicium és titan compressibilitásának egymáshoz való viszonyáról azonban biztosat nem mondhatunk. Általában valószínünek látszik, hogy a kifejezetten elektronegativ elemek compressibilitása egy-egy periodus-csoporton belől az atomsúlylyal csökken s a kifejezetten elektropositiv elemeké, ugyancsak a periodus csoportokon belől, az atomsúlylyal nő.

Abból a tényből, hogy az analog oxysók atomvolumenváltozásának nagysúgrendjét a savgyök oxygeniumon kivüli amphidjának, vagy metalloidjának összenyomhatósága szabja meg, következik, hogy a primär atomvolumenváltozásra levezetett szabályosság a ternär vegyületeknél is fennáll; azaz

a tertiär atomvolumenváltozás is az atomsúly periodusos függvénye kell, hogy legyen.

A tertiär atomvolumenváltozás sajátosságai más oldalról is megközelíthetők. És pedig egy a Hess törvényhez hasonló törvényszerűség alapján akként, hogy a fémoxydból és savanhydridból való keletkezés atomvolumenváltozását vizsgáljuk.

Az atomvolumenváltozás csakis a kezdet- és végállapottól függ. Az összes atomvolumenváltozás például ugyanakkora lesz, akár elemeiből képződik a baryumsulfát, akár először baryumoxyd és kéntrioxyd, majd ezekből baryumsulfat keletkezik.

I. 1. $Ba + S + O_4 = Ba\,S\,O_4$ ..... 56,30 ccm

II. 1. $Ba + O = Ba\,O$ ..... 19,95 „
2. $S + O_3 = S\,O_3$ ..... 18,30 „
3. $Ba\,O + S\,O_3 = Ba\,S\,O_4$ ..... 18,05 „

$Ba + S + O_4 = Ba\,S\,O_4$ 56,30 „

(Ebben a kifejezésmódban eljárás kinálkozik ismeretlen atom, illetve molekulavolumenek kiszámítására, ha egy sűrűség kisérletileg meg nem állapítható volna. De minthogy két egyenletben ez esetben három ismeretlen [egy ismeretlen atomvolumen és két ismeretlen atomvolumenváltozás] szerepel, egyik atomvolumenváltozás valamiképen meghatározandó.)

A fémoxydból és savanhydridből keletkezés atomvolumenváltozásai ugyanolyan sorrendben vannak összefoglalva, mint az elemekből keletkezés atomvolumenváltozásai (VIII. táblázat).

IX. TÁBLÁZAT.

Ternär vegyületek atomvolumenváltozása fémoxydból és savanhydridből való keletkezésük esetén.

Képlet	Fémoxyd és savanhydrid molekulavolumenének összege ccm	Molekulavolumen ccm	Molekulavolumenváltozás C = ccm	Reactióhő H = kj	Hányados $\frac{C}{H} \cdot 100$
	Jodatok				
$NaJO_3$	13,66 + 34,82 = 48,48	46,28	2,20		
KJO_3	17,78 + 34,82 = 52,60	55,05	−2,45	428	−0,57
$RbJO_3$	25,13 + 34,82 = 59,95	57,22	2,73		
$AgJO_3$	15,32 + 34,82 = 50,14	51,24	−1,10		
$CsJO_3$	32,35 + 34,82 = 67,17	63,73	3,44		
$Ba(JO_3)_2$	30,68 + 69,64 = 100,32	93,04	7,28		
	Sulfatok				
$BeSO_4$	8,20 + 41,27 = 49,47	43,02	6,45		
Na_2SO_4	27,31 + 41,27 = 68,58	53,51	15,07	495	3,04
$MgSO_4$	11,85 + 41,27 = 53,12	45,46	7,66	200	3,83
$Al_2(SO_4)_3$	25,55 + 123,71 = 149,26	126,35	22,91		
K_2SO_4	35,55 + 41,27 = 76,82	68,80	8,02	574	1,39
$CaSO_4$	17,81 + 41,27 = 59,08	45,81	13,27	322	4,13
$Cr_2(SO_4)_3$	30,15 + 123,71 = 153,86	130,15	23,71		
$MnSO_4$	13,93 + 41,27 = 55,20	51,20	4,00	207	1,93
$Fe_2(SO_4)_3$	30,47 + 123,71 = 154,18	129,00	25,18		
$NiSO_4$	11,14 + 41,27 = 52,41	42,81	9,60		
$CoSO_4$	13,19 + 41,27 = 54,46	43,92	10,54		
$CuSO_4$	12,43 + 41,27 = 53,70	44,65	9,05	138	6,55
$ZnSO_4$	14,44 + 41,27 = 55,71	46,26	9,45	150	6,30
Rb_2SO_4	50,25 + 41,27 = 91,52	73,95	17,57		
$SrSO_4$	23,85 + 41,27 = 65,12	49,50	15,62	376	4,16
$Y_2(SO_4)_3$	44,78 + 123,71 = 168,49	178,50	− 10,01		
Ag_2SO_4	30,63 + 41,27 = 71,90	57,49	14,41	214	6,73

Képlet	Fémoxyd és savanhydrid molekulavolumenének összege ccm	Molekula-volumen ccm	Molekula-volumen-változás C = ccm	Reactióhő H = kj	Hányados $\frac{C}{H} \cdot 100$
$CdSO_4$	15,76 + 41,27 = 57,03	44,26	12,77	187	6,84
$In_2(SO_4)_3$	38,62 + 123,71 = 162,33	150,50	11,83		
Cs_2SO_4	64,70 + 41,27 = 105,97	85,27	20,70		
$BaSO_4$	30,68 + 41,27 = 71,95	53,90	18,05	406	4,46
$La_2(SO_4)_3$	50,30 + 123,71 = 174,01	157,06	16,95		
$Pr_2(SO_4)_3$	47,78 + 123,71 = 171,49	153,00	18,49		
$Er_2(SO_4)_3$	44,35 + 123,71 = 168,04	169,42	−1,38		
$HgSO_4$	18,32 + 41,27 = 59,59	45,78	13,81	145	9,53
$PbSO_4$	23,98 + 41,27 = 65,25	48,62	16,63	226	7,36
$Th(SO_4)_2$	26,13 + 82,54 = 108,67	100,40	8,27		
Chromatok					
Na_2CrO_4	27,31 + 36,49 = 63,80	59,58	4,22	310	1,36
K_2CrO_4	35,75 + 36,49 = 72,04	71,42	0,62	395	0,16
$SrCrO_4$	23,85 + 36,49 = 60,34	52,30	8,04		
Ag_2CrO_4	30,63 + 36,49 = 67,12	57,91	9,21		
$BaCrO_4$	30,68 + 36,49 = 67,17	55,12	12,05		
$PbCrO_4$	23,98 + 36,49 = 60,47	51,30	9,17		
Molybdatok					
$BaMoO_4$	30,68 + 32,37 = 63,05	63,89	−0,84		
$PbMoO_4$	23,98 + 32,37 = 56,35	55,50	0,85		
Wolframatok					
Na_2WO_4	27,31 + 33,92 = 61,23	70,38	9,15	374	3,45
$CaWO_4$	17,81 + 33,92 = 51,73	47,52	4,21		
$SrWO_4$	23,85 + 33,92 = 57,77	54,25	3,52		
$BaWO_4$	30,68 + 33,92 = 64,60	60,62	3,98		
$PbWO_4$	23,98 + 33,92 = 57,90	55,75	2,15		
Metaphosphatok					
$NaPO_3$	13,66 + 29,83 = 43,49	45,22	−1,73		
$Al(PO_3)_3$	12,78 + 89,49 = 102,27	95,01	7,26		
KPO_3	17,78 + 29,83 = 47,61	47,74	−0,13		
$Cr_2(PO_3)_6$	30,15 + 178,98 = 209,13	194,50	14,63		
$Fe(PO_3)_3$	30,47 + 89,49 = 119,96	97,00	22,96		
$Th(PO_3)_4$	65,13 + 119,32 = 184,45	134,17	50,28		

Képlet	Fémoxyd és savanhydrid molekulavolumenének összege ccm	Molekula-volumen ccm	Molekula-volumen-változás C = ccm	Reactióhő H kj	Hányados $\frac{C}{H} \cdot 100$
Orthophosphatok					
$Na_3 P O_4$	40,97 + 29,83 = 70,80	64,72	6,08	472	1,29
$Al P O_4$	12,78 + 21,83 = 34,61	47,22	−12,61		
$Ca_3 (P O_4)_2$	53,43 + 59,66 = 113,09	97,55	15,54	646	2,41
$Zn_3 (P O_4)_2$	43,32 + 59,66 = 102,98	96,76	6,22		
$Ag_3 P O_4$	45,95 + 29,83 = 75,78	65,80	9,98		
$Ba_3 (P O_4)_2$	92,04 + 59,66 = 151,70	146,65	5,05	831	0,61
$Pb_3 (P O_4)_2$	71,94 + 59,66 = 131,60	114,15	17,45		
$Bi P O_4$	28,49 + 21,83 = 50,32	47,86	2,46		
Pyrophosphatok					
$Na_4 P_2 O_7$	54,62 + 59,66 = 114,28	108,60	5,68		
$Mg_2 P_2 O_7$	23,70 + 59,66 = 83,36	92,70	−9,36		
$Y_4 (P_2 O_7)_3$	89,56 + 178,98 = 268,54	107,27	161,27		
$Ag_4 P_2 O_7$	61,26 + 59,66 = 120,92	114,03	6,89		
$Ba_2 P_2 O_7$	61,36 + 59,66 = 12,102	115,12	5,90		
$Pb_2 P_2 O_7$	47,96 + 59,66 107,62	101,45	6,17		
Orthoarseniatok					
$Na_3 As O_4$	40,97 + 28,16 = 69,13	73,30	−4,17		
$Ag_3 As O_4$	45,95 + 28,16 = 74,11	69,55	4,56		
Carbonatok					
$Na_2 C O_3$	27,31 + 36,66 = 63,97	42,76	21,21	300	7,07
$Mg C O_3$	11,85 + 36,66 48,51	27,73	20,78	110	18,90
$K_2 C O_3$	35,55 + 36,66 = 72.21	60,40	11,81	351	3,37
$Ca C O_3$	17,81 + 36,66 = 54,47	35,30	19,17	176	10,89
$Mn C O_3$	13,93 + 36,66 = 50,59	36,78	13,81	70	19,73
$Zn C O_3$	14,44 + 36,66 = 51,10	28,25	22,85	54	40,30
$Sr C O_3$	23,85 + 36,66 = 60,51	43,92	16,59	214	7,76
$Ag_2 C O_3$	30,63 + 36,66 = 67,29	45,45	21,84	69	31,65
$Cd C O_3$	15,76 + 36,66 = 52,42	40,64	11,78	72	16,38
$Ba C O_3$	30,68 + 36,66 = 67,34	46,22	21,12	232	9,11
$Pb C O_3$	23,98 + 36,66 = 60,64	41,50	19,14	80	23,95

Képlet	Fémoxyd és savanhydrid molekulavolumenének összege ccm	Molekula-volumen ccm	Molekula-volumen-változás C = ccm	Reactióhő H = kj	Hányados $\frac{C}{H} \cdot 100$
Metasilicatok					
$MgSiO_3$	11,85 + 22,75 = 34,60	32,90	1,70		
$CaSiO_3$	17,81 + 22,75 = 40,56	40,81	−0,25	120	0,21
$MnSiO_3$	13,93 + 22,75 = 36,68	36,68	0,00	6	0,00
$ZnSiO_3$	14,44 + 22,75 = 37,19	36,68	0,51		
$SrSiO_3$	23,85 + 22,75 = 46,60	41,92	4,68		
$BaSiO_3$	30,68 + 22,75 = 53,43	56,70	−3,27		
Orthosilicatok					
Be_2SiO_4	16,40 + 22,75 = 39,15	44,90	−5,75		
Mg_2SiO_4	23,70 + 22,75 = 46,45	43,90	2,55		
Zn_2SiO_4	28,88 + 22,75 = 51,63	60,27	−8,64		
Sr_2SiO_4	47,70 + 22,75 = 70,45	69,73	0,72		
$ZrSiO_4$	21,40 + 22,75 = 44,15	40,62	3,53		
Metatitanatok					
$CaTiO_3$	17,81 + 19,44 = 37,25	34,01	3,24		
$ZnTiO_3$	14,44 + 19,44 = 33,88	51,00	−17,12		
Metaboratok					
$Cu(BO_2)_2$	12,43 + 39,10 = 51,53	38,75	12,78		
$Pb(BO_2)_2$	23,98 + 39,10 = 63,08	48,92	14,16		

I. Homolog oxysók.

Jodat: $[NaJO_3] > [KJO_3] < [RbJO_3] < [CsJO_3]$.

Sulfat: $[Na_2SO_4] > [K_2SO_4] < [Rb_2SO_4] < [Cs_2SO_4]$, $[BaSO_4] \gtrless [SrSO_4] \gtrless [CaSO_4]$, $[MgSO_4] > [BeSO_4]$, $[CdSO_4] > [ZnSO_4]$, $[CoSO_4] \gtrless [NiSO_4] > [MnSO_4]$;

chromat: $[Na_2CrO_4] > [K_2CrO_4]$, $[BaCrO_4] > [SrCrO_4]$;

wolframatok: $[CaWO_4] \gtrless [BaWO_4] \gtrless [SrWO_4]$.

Metaphosphatok: $[NaPO_3] < [KPO_3]$ (illetve a $NaPO_3$ dilatatiója nagyobb a KPO_3-énál);

orthophosphat: $[Ca_3(PO_4)_2] > [Ba_3(PO_4)_2]$.

Carbonatok: $[Na_2CO_3] > [K_2CO_3]$, $[BaCO_3] > [CaCO_3] > [SrCO_3]$, $[CdCO_3] < [ZnCO_3]$;

metasilicatok: $[SrSiO_3] > [CaSiO_3] > [BaSiO_3]$.

II. Ugyanegy fém analog oxysói.

Sulfat — chromat — molybdat — wolframat: $[Na_2SO_4] > [Na_2CrO_4] > [Na_2WO_4]$, $[K_2SO_4] > [KCrO_4]$, $[CaSO_4] > [CaWO_4]$, $[SrSO_4] > [SrCrO_4] > [SrWO_4]$, $[Ag_2SO_4] > [AgCrO_4]$, $[BaSO_4] > [BaCrO_4] > [BaWO_4] > [BaMoO_4]$, $[PbSO_4] > [PbCrO_4] > [PbWO_4] > [PbMoO_4]$.

Orthophosphat — orthoarseniat: $[Na_3PO_4] > [Na_3AsO_4]$, $[Ag_3PO_4] > [Ag_3AsO_4]$.

Carbonat — metasilicat — metatitanat: $[MgCO_3] > [MgSiO_3]$, $[CaCO_3] > [CaTiO_3] > [CaSiO_3]$, $[MnCO_3] > [MnSiO_3]$, $[ZnCO_3] > [ZnSiO_3] > [ZnTiO_3]$, $[SrCO_3] > [SrSiO_3]$, $[BaCO_3] > [BaSiO_3]$.

A ***homolog*** alkáli oxysók atomvolumenváltozása a natriumtól kaliumig csökkenő, a kaliumtól az alkalifém atomsúlyrendjében növekvő. Úgy látszik, hogy a kaliumoxyd keletkezése viszonylag a legnagyobb contractióval jár s ezért kisebb további atomvolumenváltozása. Az alkáliföldfémoxysók atomvolumenváltozása itt is egymáshoz igen közelálló érték. A [magnesiumoxysó] > [berylliumoxysó] sorrend marad. A cadmiumcarbonat contractiója várakozásunk ellenére kisebb a cinkcarbonaténál. A cobalt és nickelsulfat contractiója csaknem megegyezik egymással és kisebb a mangansulfaténál.

*Az **analogok*** sulfat-chromat-molybdat-wolframat csoportjában az atomvolumenváltozás nagyságát illetőleg 7 eset közül kettő tér el ettől a sorrendtől és pedig $[BaWO_4] > [BaMoO_4]$ s $[PbWO_4] > [PbMoO_4]$. Így tehát sem az elemekből, sem a fémoxyd és savanhydridből keletkezés atomvolumenváltozásából nem következtethetünk a W és Mo összenyomhatóságának sorrendjére; a Cr helye azonban ebben a vonatkozásban kijelölhető, amennyiben a Se után jön s a Mo meg W előtt áll. Nevezetes, hogy a carbonat-metasilicat-metatitanat analogonok atomvolumenváltozása közt a carbonaté mindig a legnagyobb, ami arra vall, hogy a CO_2, daczára annak, hogy a C igen kevéssé compressibilis, sokkal összenyomhatóbb, mint a SiO_2. Ez az ekként levezetett tény pedig közismert. A metatitanatok változó rendjéből a Ti compressibilitásának helyzetét a C és Si között nem jelölhetjük ki.

Figyelemreméltó az a tény, hogy számos elemeiből contractióval keletkező ternär vegyület, fémoxydból és savanhydridből *dilatatióval* keletkezik.

A fémoxydból és savanhydridből való fémoxysó keletkezéskor fellépő atomvolumenváltozás fentebbiek szerint nem esetleges és rendszertelen, hanem az oxydokban már bennfoglalt compressió számbavételével előre megitélhető. Azokban az esetekben (analog oxysóknál), melyekben az anhydridek compressibilitásának sorrendje ugyanaz marad, mint volt az oxygeniumon kívüli nem fémeké, az oxydokból képződés atomvolumenváltozásának sorrendje marad, mint volt az elemekből való keletkezés esetén.

Az alant következőkben, melyek nehány következést foglalnak magukban, kifejtettek nemcsak az eddig használt atomvolumen $= \frac{\text{grammatom}}{\text{sürüség}}$ és molekulavolumen $= \frac{\text{molekulagramm}}{\text{sürüség}}$ fogalmakra vonatkoznak, hanem az anyag discontinuus egységeinek, a molekuláknak és atomoknak tulajdonságaira is.

Contractiót positiv, dilatatiót negativ atomvolumenváltozásnak jelöltük az eddigiekben. Ennél a megkülönböztetésnél mélyebbet felkeresni mindenesetre feladata a kutatásnak. Töredezett ismereteink, hogy például a jodidok nagyobbrészt dilatatióval kelekeznek s az oxysók elemeikből contractióval, még mindig nem elégségesek szabály felállítására, melyek alapján megjósolni tudnók, hogy mikor fog egy vegyülés contractióval és mikor dilatatióval járni. A kiterjedés általában a fajhő növekvésével jár. Az a próbálkozás azonban, hogy a componensek fajhőjének összegét a keletkezett vegyület fajhőjével (illetve atomhőkapacitások összegét a molekulahőkapacitással) hasonlítsuk össze, meddő eredménnyel járt; részint talán azért, mert a fajhők igen kis értékek, részint azért, mert ez csak egy componens jelenség s nem alkalmas az összes változás megitélésére.

Kérdéses, hogy a componensek egyirányú térfogatváltozásából áll-e az atomvolumenváltozás? Könnyen elképzelhető, hogy az egyik componens dilatatiója dacára, a másik contractiója elfedve azt, az atomvolumenváltozás kifelé contractiónak

nyilvánul. *Összes eddigi számításaimban feltételezve volt, hogy a componensek atomvolumenváltozása egyirányú.*

A Richards felállította atomvolumenváltozás — reactióhő parallelitásnak semmi ellene nem mond. Nem ébred azonban szüksége annak, hogy a reactióhő egyetlen okául az affinitások térfogatváltoztató munkáját tekintsük, minthogy arányosságot megközelítő parallellitás csakis homolog, vagy ugyanegy fémnek analog vegyületeinél fordul elő. Az összefüggés sokkal bonyolódottabb, mint az alább a vegyülés szakaszosságának kifejtésével ki fog derülni.

De már az anyag continuitását egyáltalán szükségtelen felvenni. Először azért nem, mert az ultramikroskopos vizsgálatok s a Brown-féle mozgás közvetlenül igazolják a discontinuus molekulák létezését, másodszor azért nem, mert Richards összehasonlításai igen durva módszer avégre, hogy atomközi sajátságokra következtethessük, tekintettel arra, hogy minden érték úgy az atomcentrumra, mint az atomburokra vonatkozik. Mig felfejlődéssel az összehasonlítások módszerét ki nem nőjjük, addig egyedül reális a magyarok (Fabinyi—Wolf) kezdeményezte módszer, mely az anyag gyűjtését és elrendezését tűzte ki feladatául.

Ennek a munkának részletei néhol egy egésszé állanak össze, másutt, hol a gondolat mélyebbre érik, a végső kérdéseket is érintik következéseikben.

Ilyen *a vegyülés mechanismusa*. A molekula többek közt meghatározott a benne foglalt atomok vegyületben lévő atomvolumene által. Hogyan történik tehát a vegyülés? Először egyesülnek a componensek s aztán veszik-e fel a vegyületet meghatározó térfogatokat, vagy megforditva? Tekintettel arra, hogy a vegyületben lévő atomvolumenek *meghatározzák* a molekulát, egy olyan complexum el sem képzelhető, melyben a componensek nem a molekulát jellemző térfogattal vesznek részt. Csakis a második feltevés fogadható el: a vegyülés szakaszos, a molekulát felépítő atomok a molekulában elfoglalandó volument előbb felveszik s a második szakaszban történik kapcsolódásuk. Az első szakaszban talán physikális energiaváltozás a componensek térfogatváltoztatásával létrehozza az arra szüksé-

ges dispositiót, hogy a chemiai energia atomkötéseket létesítő változása kiváltódjék. Ennek a feltevésnek megerősítésére szolgál az atomvolumenváltozásnak P energiahányadossal számított ideális munkaértéke. Ha ugyanis a componens atomvolumenváltozások (lásd V., VI. és VII. táblázatokat) $\frac{1}{10}$ P$\times$av (componens atomvolumenváltozás munkája jouleban) értékeit egy-egy binär vegyületre összegezzük, úgy találjuk, hogy ez egyszer kisebb, máskor *nagyobb* a képződéshőnél (jouleban). Várakozásunk szerint a képződéshőnek kellene nagyobbnak lennie mindig, mert P csak a kezdeti ellenállást fejezi ki, mely a compressióval növekszik. Várakozásunk be nem teljesülése arra mutat, hogy a volumenergia contraháló (vagy dilataló) munkáján kívül ellenkező irányú energiaváltozás is történik, szóval a vegyülés: *szakaszos* Ez ellentétben áll Richards sejtésével, mert eszerint a térfogatváltozás munkája nem egyenlő a reactióhővel, hanem annak része.

Ostwald szerint, akármilyen kissé ásunk is a földbe, közelebb jutunk középpontjához. Én a molekula születésének titkát abban a tudatban mertem érinteni, hogy ha rossz irányba ásunk is, megkönnyítjük az utánunk jövők munkáját, hogy helyes útat találjanak a titkok középpontjához.

ALKALMAZÁS.

Az elmélet adta általános nézőpontok alkalmazhatóságáról annyiban lehet szó, amennyiben azok alkalmasak ismeretlen atomvolumenek vagy molekulavolumenek megjósolására, ha a sürűség nincsen meghatározva, vagy akár feltételezett vegyületek esetében is. E jóslások, minthogy nem vezethetők le szabatos számítással sem empirikus, sem elméleti függvényből, nagyobb pontosságot 5%-nál nem igényelnek s értékük abban áll, hogy a határokat jelölhetjük ki, melyek közt a keresett atom- vagy molekulavolumennek feküdnie kell. Két esetben kisértetett meg az alkalmazhatóság demonstrálása; első a Na_2O_2, második a $Ni(OH)_2$ molekulavolumenének kiszámítása. Elsőben az ismeretlen sürűség szükségelte a számítást, másodikban kiderült, hogy a $Ni(OH)_2$ képletnek megfelelő hydrat elő sincs állítva s a számítás feltételezett vegyületre vonatkozott.

Na_2O_2. Számítás. A periodusos rendszer I. csoportjába tartozó alkali fémek atomsúly-sorrendjével számos tulajdonságuk összekötött.

X. TÁBLÁZAT.

Elem	Atom-súly	Sürűség	Atom-volumen	Olvadás-pont	Energia-hányados	Compressibilitás
Li	6,94	0,552	12,57	180°	—	0,000011
Na	23,0	0,972	23,66	97,5°	51290	0,000018
K	39,10	0,870	44,94	62,5°	24190	0,000032
Rb	85,45	1,532	55,78	38,5°	—	—
Cs	132,81	1,87	71,02	26,5°	9567	—

Az atomvolumen, olvadáspont, energiahányados és compressibilitás rendjéből kitünik, hogy az alkaliák homolog vegyületeinek atomvolumenváltozása növekvőleg Li, Na, K, Rb és Cs sorrendet fog követni, minthogy az összenyomhatóság az atomsúlylyal növekszik.

XI. TÁBLÁZAT.

Li 2. periodus	Na 3. periodus	K 4. periodus	Rb 6. periodus	Cs 8. periodus
Li F = 19,71	Na F = 25,60	K F = 38,70	—	—
Li Cl = 14,23	Na Cl = 19,08	K Cl = 29,84	Rb Cl = 23,62 [1]	Cs Cl = 51,28
Li Br = 12,96	Na Br = 14,92	K Br = 26,15	Rb Br = 21,68	Cs Br = 48,25
Li J = 5,35	Na J = 7,12	K J = 16,59	Rb J = 11,16	Cs J = 39,27
—	Na_2O = 34,30	K_2O = 68,62	Rb_2O = 75,60	Cs_2O = 91,63
—	—	—	Rb_2O_2 = 84,49	Cs_2O_2 = 103,98
—	—	—	Rb_2O_3 = 94,13	Cs_2O_3 = 111,11
Li_2S = 14,17	Na_2S = 32,41	K_2S = 54,80	—	—
—	—	—	Rb_2S_5 = 68,71	Cs_2S_5 = 73,84

Az alkáliák halogén-, oxyd- és sulfidvegyületeinek atomvolumenváltozását feltüntető táblázat felvilágosít arra nézve, hogy a Cs_2O_2 atomvolumenváltozása nagyobb a Rb_2O_2-énál, de minthogy arányosság a csökkenésben fel nem tételezhető, egyebet nem mond, minthogy a $Na_2 + O_2 \longrightarrow Na_2O_2$ egyenlet szerinti keletkezéskor fellépő atomvolumenváltozásnak kisebbnek kell lennie 84,49 ccm-nél. További megközelítésre kiindulópontúl szolgál az oxydokból való hyperoxydkeletkezéskor s általában oxydokból egy O additiójával képződő magasabb oxygenvegyületek keletkezésekor fellépő térfogatváltozás vizsgálata.

[1] A Rb haloidsóinak sürüsége minden valószinüség szerint alacsonyabbnak határoztatott meg a ténylegesnél.

XII. TÁBLÁZAT.

Vegyület	Atom-volumen-változás	Oxydképződés és O additio atomvolumen-változásának különbsége	Kép-ződéshő kj	Az O additio kép-ződéshője kj	A fém energia-hányadosa	$\frac{C}{H} \cdot 100$
Mn O			374			
$Mn O_2$	10,91	3,15	515	141	—	7,74
$Cu_2 O$			165			
2 Cu O	13,79	9,57	600	435	689800	3,18
$Rb_2 O$			341			
$Rb_2 O_2$	8,89	—66,71	—	—	—	—
Sn O			277			
$Sn O_2$	14,00	4,79	569	292	258900	4,80
$Cs_2 O$			340			
$Cs_2 O_2$	12,35	—79,28	459	119	9567	10,37
Ba O			527			
$Ba O_2$	10,81	—9,14	620	93	—	11,62
$Pb_2 O$			—			
2 Pb O	10,46	3,78	—	—	166900	—
Pb O			216			
$Pb O_2$	12,07	3,50	349	133	166900	9,07

Az itt felsorolt oxydok atomvolumenváltozása 4,22-től 91,63-ig terjed ($Cu_2 O - Cs_2 O$), az O additióé 8,89—14,00 között mozog ($Rb_2 O - Sn O_2$), tehát szűk határok között. Ebből következik, hogy az oxydok összenyomhatósága nem különbözik annyira egymástól, mint az elemeké. Az oxydképződés és az O additio atomvolumenváltozásának különbsége annál nagyobb, minél kisebb a fém compressibilitása. A nagy compressibilitású Ca, Rb és Cs esetében negativ értékbe megy át. A térfogatváltozás közel állandó mivolta mellett (11 ccm) az additio reactiohője a fém compressibilitásának csökkenésével növekszik. Végül az utolsó rovatban foglalt $\frac{C}{H} \cdot 100$ hányados is teljesen kielégíti az elméletet, amennyiben 100 kj-ra eső összehuzódás annál kisebb, minél nehezebben comprimálható az oxyd féme. A $Rb_2 O + O = Rb_2 O_2$ reactio atomvolumenváltozása 8,89, a $Cs_2 O + O =$

Cs_2O_2 reactioé 12,35, ami megfelel várakozásunknak. Ha a Na_2O_2 molekulavolumenének határát akarjuk kijelölni, annyit előrebocsáthatunk, hogy a $Na_2O + O = Na_2O_2$ reactio szerinti atomvolumenváltozás 8,89-nél több nem lehet s attól kevéssel különbözhet. A reactio térfogati viszonyai eszerint:

$$\begin{aligned} Na_2O &= 27{,}31 \text{ ccm} \\ O &= 14{,}29 \quad \text{„} \\ \hline Na_2O + O &= 41{,}60 \text{ ccm} \\ \text{Contractio} \lesssim & \ 8{,}89 \quad \text{„} \\ \hline Na_2O \lesssim & \ 32{,}71 \text{ ccm} \end{aligned}$$

A Na_2O_2 atomvolumene kevéssel nagyobb tehát 32,71-nél és sürűsége kevéssel kisebb 78,00 : 32,71 = 2,38-nál.

Meghatározás. Anyag: Merck natrium peroxydatum purissimum, melyet közvetlenül a meghatározás előtt felbontott bádogdobozból vettem.

Pyknometer: Booth-féle Dewar rendszerű, ca 25 ccm ürtartalmú, mely a kettős üvegfal közötti ritkított levegő folytán a hőmérsékváltozásokat kevéssé érezte meg; normalhőmérője 0,1 C°-ig leolvasható; súlya (több mérés középértéke) $\pi = 38{,}6386$ g.

A pyknométerfolyadék kiválasztására irányító volt az a körülmény, hogy a $Na_2O_2 + 2H_2O = 2NaOH + H_2O_2$, $H_2O_2 = H_2O + O$ egyenletek szerinti bomlás elkerülésére az teljesen vízmentes kellett, hogy legyen. Először is chloroformmal tétetett kisérlet, de ismételt víztelenítés daczára is érintkezés esetén pezsgés lépett fel. Végre is a benzol, mint vízzel amúgy sem elegyedő folyadék víztelenítésében elértem a kivánt mértéket: pezsgés nem mutatkozott.

Hibaforrások: elsősorban a csiszolt felületeken való párolgás. Kenőcs alkalmazása ennek megakadályozására itt hiábavaló lett volna, minthogy a benzol azt feloldotta volna. Másodsorban a benzol nagymértékű térfogatváltozása a hőmérsékkel. Erre való tekintettel a sürűségeket nem vonatkoztattam 4 C°-u vízre és légüres térre, minthogy e számítások érvényességét az említett hibaforrások kérdésessé teszik.

19,3 C°-nál a pyknometer vízértéke 25,0012, térfogata pedig 1,00254 fajlagos térfogat mellett 25,0647 ccm. 20,2 C°-on a pykno-

meterben foglalt benzol tömege 21,9968 g. E hőfokon a pyknometer térfogata $25{,}0647 + 25 . 0{,}000025 . 0{,}9 = 25{,}0653$ ccm, mely kifejezés második tagjában 25 a pyknometer megközelítő térfogata, 0,000025 az üveg köbös kiterjedési coefficiense és 0,9, 20,2 és 19,3 C°-ok különbsége. A benzol sürűsége 20,2 C°-on ezek szerint $21{,}9968 : 25{,}0653 = 0{,}8776$. A Na_2O_2 sürűségének meghatározására az

$$s = \frac{m}{w} . \sigma_t \quad \text{és} \quad w = m + p_0 - p$$

képletek szolgálnak, melyekben

s = sürűség,

m = a bemért Na_2O_2 tömege,

w = a Na_2O_2 kiszorította benzol tömege,

σ_t = a benzol sürűsége a mérés t hőfokán,

p_0 = a pyknometert betöltő t C°-u benzol tömege és

p = a pyknometerben foglalt Na_2O_2 és benzol együttesen, t C°-on. p_0 az öt meghatározás hőfokaira kiszámítható következőképen: 1 ccm benzol térfogata O C°-tól kezdve $v_t = 1 + 0{,}00116\ t + 0{,}0000002226\ t^2$ függvényben kifejezetten növekszik s lesz

$v_{19{,}2^0} = 1{,}0231$ ccm
$v_{19{,}8^0} = 1{,}0232$ „
$v_{20{,}2^0} = 1{,}0243$ „
$v_{20{,}6^0} = 1{,}0248$ „
$v_{20{,}8^0} = 1{,}0251$ „

A 20,2 C°-on 1 ccm = 0,8776 g benzol térfogata tehát

	$v_{20{,}2^0} = 1{,}0243$	1,0000	
19,2 C°-on	$v_{19{,}2^0} = 1{,}0231$	−0,0012	
	0,0012	0,9988	ccm
	$v_{20{,}2^0} = 1{,}0243$	1,0000	
19,3 C°-on	$v_{19{,}3^0} = 1{,}0232$	−0,0011	
	0,0011	0,9989	ccm
	$v_{20{,}6^0} = 1{,}0248$	1,0000	
20,6 C°-on	$v_{20{,}2^0} = 1{,}0243$	+0,0005	
	0,0005	1,0005	ccm és

$v_{20,8^0} = 1{,}0251$ 1,0000

20,8 C°-on $v_{20,2^0} = 1{,}0243$ +0,0008

0,0008 1,0008 ccm

A sürűség σ_t pedig 19,2 C°-on 0,8776 : 0,9988 = 0,8787

19,3 „ 0,8776 : 0,9989 = 0,8786

20,6 „ 0,8776 : 1,0005 = 0,8772 és

20,8 „ 0,8776 : 1,0008 = 0,8769.

p_0 értéke e hőmérsékeken, minthogy a pyknometer corrigált térfogata

19,2 C°-on = 25,0646 $p_0^{13,2^0} = 25{,}0646 \times 0{,}8787 = 22{,}0242$

19,3 „ = 25,0647 $p_0^{19,3^0} = 25{,}0647 \times 0{,}8786 = 22{,}0218$

20,2 „ = 25,0653 $p_0^{20,2^0} = 25{,}0653 \times 0{,}8776 = 21{,}9973$

20,6 „ = 25,0655 $p_0^{20,6^0} = 25{,}0655 \times 0{,}8772 = 21{,}9874$

20,8 „ = 25,0656 $p_0^{20,8^0} = 25{,}0656 \times 0{,}8769 = 21{,}9800$

Első meghatározás.

t = 20,6 C°

m = 1,1573 g

p_0 = 21,9874 „

23,1447 „

p = 22,7039 „

w = 0,4408 g

$\sigma_{20,6^0} = 0{,}8772$ $s = \frac{1{,}1573}{0{,}4408} . 0{,}8772 = 2{,}3030$

Második meghatározás.

t = 20,6 C°

m = 1,3823 g

p_0 = 21,9874 „

23,3697 „

p = 22,8404 „

w = 0,5293 g

$\sigma_{20,6^0} = 0{,}8772$ $s = \frac{1{,}3823}{0{,}5293} . 0{,}8772 = 2{,}2890$

Harmadik meghatározás.

$t = 20{,}8\ C^0$
$m = 1{,}8422\ g$
$p_0 = 21{,}9800\ „$
$23{,}8222\ „$
$p = 23{,}1234\ „$
$w = 0{,}6988\ g$
$\sigma_{20{,}5^0} = 0{,}8769 \quad s = \frac{1{,}8422}{0{,}6988} \cdot 0{,}8769 = 2{,}3116$

Negyedik meghatározás.

$t = 19{,}3\ C^0$
$m = 1{,}0398\ g$
$p_0 = 22{,}0218\ „$
$23{,}0616\ „$
$p = 22{,}6713\ „$
$w = 0{,}3903\ g$
$\sigma_{19{,}3^0} = 0{,}8786 \quad s = \frac{1{,}0398}{0{,}3903} \cdot 0{,}8786 = 2{,}3407$

Ötödik meghatározás.

$t = 19{,}2\ C^0$
$m = 1{,}1030\ g$
$p_0 = 22{,}0242\ „$
$23{,}1272\ „$
$p = 22{,}7103\ „$
$0{,}4169\ g$
$\sigma_{19{,}2^0} = 0{,}8787 \quad s = \frac{1{,}1030}{0{,}4169} \cdot 0{,}8787 = 2{,}3247$

Ez öt meghatározás középértéke

1.	2,30
2.	2,29
3.	2,31
4.	2,34
5.	2,33

$11{,}57 : 5 = 2{,}314$, illetve

2,31. A molekulavolumen eszerint $78{,}00 \cdot 2{,}31 = 33{,}77$, mely érték a számított 32,71-nél ***magasabb*** s attól 3,1%-el tér el: a meghatározott sűrűség 2,31, a számított 2,38-nál ***alacsonyabb***. Eltérés 3%.

$Ni(OH)_2$. Számítás. Azoknak az értékeknek összehasonlítása, melyektől a contractio és dilatatio függ a Mn, Fe, Ni és Co eseteiben arra enged következtetni, hogy azonos körülmények között a térfogatváltoztatás munkájával szemben megközelítőleg viselkednek.

XIII. TÁBLÁZAT.

Elem	Atomsúly g	Sürűség $\frac{g}{ccm}$	Atomvolumen ccm	Fajhő kj	Köbös kit. coeff. ccm	Energiahányados P = megadyn/cm²	Olvadáspont C°
Mn	54,93	7,421	7,40	0,508	—	—	1245
Fe	55,84	7,86	7,10	0,486	0,0000333	1147000	1804
Ni	58,68	8,8	6,67	0,453	0,0000383	1041000	1452,3
Co	58,97	8,8	6,70	0,431	0,0000370	1025000	1489,8

(A Mn a *valószinűleg* legkevésbbé összenyomható, tekintve azt, hogy a hőokozta kiterjedéssel szemben való ellenállás a fajhővel arányos.) Különösképpen a Ni-ről és Co-ról, mint chemiailag igen közelálló elemekről tehetjük fel, hogy a térfogatváltoztatás munkájával szemben egyenlőképpen viselkednek. S mégis az oxydképződésben eltérést mutatnak,

XIV. TÁBLÁZAT.

Oxyd	Sürűség	Atomvolumenváltozás	Képződéshő	$\frac{C}{H} . 100$
Ni O	6,7	9,82	244	4,02
Co O	5,68	7,80	247	3,26

mert a XIV. táblázat adatai szerint a Ni O sürűsége, contractiója és hányadosa nagyobb a Co O-énál, bár (kis különbségekkel) éppen az ellenkező volt várható. Ennek jelentősége a $Ni(OH)_2$ keletkezésére nézve az, hogy annak kisebb contractióval kell történnie, mint a $Co(OH)_2$ keletkezésének. Erre nézve bizonyító a $Me^{II}O + H_2O = Me^{II}(OH)_2$ egyenlet szerinti képződéshő,

$NiO + H_2O = Ni(OH)_2 + 10$ kj és $CoO + H_2O = Co(OH)_2 + 18$ kj, mely hőértékek a Richards-elv szerint azt mutatják, hogy a két oxyd közűl éppen a NiO további contractióját kell kisebbnek felvennünk. Ha ugyanis két fém compressibilitása közel egyező, ez az oxydokra sokkal inkább áll, miként ezt a Na_2O_2 tárgyalásánál általában találtuk. A $Ni(OH)_2$ molekulavolumenének alsó határát tehát következőkép számíthatjuk ki:

$CoO = 13{,}19$ ccm	$NiO = 11{,}14$ ccm
$H_2O = 18{,}02$ „	$H_2O = 18{,}02$ „
$CoO + H_2O = 31{,}21$ ccm	$NiO + H_2O = 29{,}16$ ccm
$Co(OH)_2 = 25{,}85$ „	Contractio $\lesssim$ 5,36 „
Contractio = 5,36 ccm.	$Ni(OH)_2 \gtrsim 23{,}80$ ccm

A $Ni(OH)_2$ meghatározandó molekulavolumene közelálló, de nagyobb kell, hogy legyen, mint a számított 23,80; sürűsége pedig közelálló, de kisebb, mint a számított $92{,}70 : 23{,}80 = 3{,}90$.

Meghatározás. A Függelékben leírt módon előállított és $Ni(OH)_2$ constitutióju hydrat sürűsége 3,81. A $Ni(OH)_2$ molekulavolumene innen $92{,}70 : 3{,}81 = 24{,}33$. A számított és talált molekulavolumenek közti eltérés 2,2%. A sürűségek közti 2,4%. A feltételezett 5,36 ccm-nyi contractiónál a tényleges 4,83 ccm-nyi ***kisebb.***

FÜGGELÉK.[1]

[1] A „Függelék“ phonetikai helyesírása a Bányászati és Kohászati Lapok sajátja.